

Trabajo fin de Grado en Ingeniería Química

2014/2015

# PROCESO DE PAVONADO CONTRA LA CORROSIÓN PARA ACEROS, HIERRO Y FUNDICIÓN: OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA MEJORAR DICHO PROCESO.

Llorenç Carbonell Domenech

FORADIA, S.A.L. Severino Albarracín, 3, 03804 Alcoy, Alicante

## CONTENIDO

1.	RESUMEN .....	4
1.	RESUM.....	5
1.	ABSTRACT .....	6
2.	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....	7
3.	ANTECEDENTES .....	7
4.	INTRODUCCION.....	8
4.1.	PARTE TEORICA DE MATERIALES A PAVONAR .....	9
4.1.1.	COMPOSICIÓN DEL ACERO.....	9
4.1.2.	OXIDACIÓN .....	9
4.1.3.	PROTECCIÓN CONTRA LA OXIDACIÓN .....	10
4.1.4.	CORROSIÓN .....	10
4.1.5.	PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN .....	10
5.	PROCESO DE PAVONADO ACTUAL EN LA EMPRESA .....	11
6.	ESTUDIO DEL PROCESO DE PAVONADO.....	12
6.1.	MATERIALES NO APTOS PARA SER PAVONADOS.....	15
7.	OBJETIVOS .....	16
7.1.	OBJETIVO GENERAL.....	16
7.2.	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	16
8.	EXPERIMENTAL.....	17
8.1.	PRIMERA CUBA (DESENGRASANTE ALCALINO LIGERO BLACKFAST 716).....	17
8.1.1.	COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	17
8.1.2.	APLICACIÓN .....	17
8.1.3.	VOLUMEN CUBA.....	17
8.1.4.	ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO ACTUALES .....	18
8.1.5.	CARACTERIZACIÓN DE LOS DEFECTOS QUE APARECEN EN LAS PIEZAS PAVONADAS.....	18
8.1.6.	DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS.....	19
8.1.7.	MEDIDAS DE CONTROL DE LAS DISOLUCIONES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO.....	22
8.2.	SEGUNDA CUBA (AGUA DESTILADA).....	23
8.2.1.	COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	23
8.2.2.	APLICACIÓN .....	23
8.2.3.	VOLUMEN CUBA.....	23



8.2.4.	MEDIDAS DE CONTROL DE LAS DISOLUCIONES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO.....	23
8.3.	TERCERA CUBA (ACONDICIONADOR BLACKFAST 551).....	24
8.3.1.	COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	24
8.3.2.	APLICACIÓN .....	24
8.3.3.	VOLUMEN CUBA.....	24
8.3.4.	ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO ACTUALES .....	24
8.3.5.	CARACTERIZACIÓN DE LOS DEFECTOS QUE APARECEN EN LAS PIEZAS PAVONADAS.....	25
8.3.6.	DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS.....	25
8.3.7.	MEDIDAS DE CONTROL DE LAS DISOLUCIONES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO.....	25
8.4.	CUARTA CUBA (AGUA DESTILADA) .....	26
8.4.1.	COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	26
8.4.2.	APLICACIÓN .....	26
8.4.3.	VOLUMEN CUBA.....	27
8.4.4.	MEDIDAS DE CONTROL DE LAS DISOLUCIONES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO.....	27
8.5.	QUINTA CUBA (SOLUCIÓN PAVONADORA DE HIERRO Y ACERO BLACKFAST 181).....	27
8.5.1.	COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	27
8.5.2.	APLICACIÓN .....	27
8.5.3.	VOLUMEN CUBA.....	28
8.5.4.	ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO ACTUALES .....	28
8.5.5.	CARACTERIZACIÓN DE LOS DEFECTOS QUE APARECEN EN LAS PIEZAS PAVONADAS.....	28
8.5.6.	DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS.....	28
8.5.7.	MEDIDAS DE CONTROL DE LAS DISOLUCIONES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO.....	29
8.6.	SEXTA CUBA (AGUA DESTILADA).....	30
8.6.1.	COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	30
8.6.2.	APLICACIÓN .....	30
8.6.3.	VOLUMEN CUBA.....	30
8.6.4.	MEDIDAS DE CONTROL DE LAS DISOLUCIONES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO.....	30
8.7.	SÉPTIMA CUBA (ACEITE HIDRÓFOTO MEDIO BLACKFAST 833) .....	31
8.7.1.	COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	31
8.7.2.	APLICACIÓN .....	31
8.7.3.	VOLUMEN CUBA.....	31



8.7.4.	DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS.....	31
9.	RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS EN CUBAS DE ENSAYO.....	32
9.1.	TABLA DE TIEMPOS DE INMERSIÓN PRIMERAS PRUEBAS.....	32
9.2.	TABLA DE TIEMPOS DE INMERSIÓN.....	32
10.	RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS EN MÁQUINA INDUSTRIAL.....	33
11.	DECAPADO.....	36
11.1.	CARACTERIZACIÓN DE LOS DEFECTOS QUE APARECEN EN LAS PIEZAS PAVONADAS	36
11.1.1.	Identificación de las causas para cada tipo de defecto.....	36
11.2.	DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS.....	37
11.3.	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS Y CAMBIOS.....	37
12.	TABLA PH DISOLUCIONES.....	38
13.	TABLA DE DEFECTOS/CAUSAS/MEDIDAS CORRECTORAS.....	39
14.	TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS GENERADOS.....	40
15.	RIESGOS POSIBLES Y MEDIDAS QUE SE DEBEN UTILIZAR.....	40
15.1.	ULTRASONIDOS.....	40
15.1.1.	RIESGOS DEBIDOS A LA UTILIZACIÓN DE ULTRASONIDOS.....	40
15.2.	ALCOHOL ISOPROPÍLICO.....	42
15.2.1.	Usos.....	42
15.2.2.	Medidas de seguridad.....	42
15.2.3.	Identificadores Químicos del Alcohol Isopropílico (2-propanol).....	43
15.2.4.	Peligrosidad del Alcohol Isopropílico (2-propanol).....	43
15.2.5.	Recomendaciones para el uso del Alcohol Isopropílico (2-propanol).....	44
16.	VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS PROPUESTAS.....	45
17.	IMÁGENES MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPIO.....	47
17.1.	DEFECTO PAVONADO (BURBUJA DE AIRE).....	47
17.2.	DEFECTO PAVONADO (ZONA SIN PAVONAR).....	47
17.3.	PIEZA PAVONADA Y SIN PAVONAR.....	48
17.4.	PIEZA PAVONADA.....	49
18.	CONCLUSIONES.....	50
18.1.	IMÁGENES ANTES Y DESPUÉS.....	50
19.	BIBLIOGRAFÍA.....	52

## 1. RESUMEN

Se trata de una propuesta por parte de la empresa FORADIA, S.A.L. La empresa dispone de una estación de pavonado en frío para dar un tratamiento superficial a piezas metálicas de acero que las protegen frente agentes externos como la corrosión.

Dicha propuesta se llevará a cabo mediante la realización de un trabajo cuya finalidad se centra principalmente en el análisis y estudio del proceso de pavonado en frío, con el objetivo de obtener un pavonado de calidad estable con el tiempo.

Durante el desarrollo de este proceso, se precisan 4 fases previas (un desengrasado, un aclarado en agua, un acondicionado, un aclarado en agua) 1 fase principal (pavonado) y, por último, 2 fases finales (un aclaro en agua y un baño con aceite hidrófobo).

Con el fin de lograr los objetivos propuestos por la empresa, se reprodujo, en primer lugar, el proceso de pavonado a nivel de laboratorio en una planta piloto formada por 7 cubas. A partir de la consecución de los resultados, se llevaron a cabo distintos experimentos a nivel industrial.

Con motivo del alto contenido de materia orgánica e inorgánica en la superficie de las piezas metálicas sometidas a pavonado, se realizó un primer estudio sobre el pretratamiento superficial de dichas piezas. En él, se llevó a cabo la realización de una serie de pruebas de desengrasado:

- Desengrasado con un desengrasante alcalino.
- Desengrasado con un desengrasante alcalino en una cuba de ultrasonidos.
- Desengrasado con alcohol isopropílico.
- Desengrasado con alcohol isopropílico en una cuba de ultrasonidos.
- Desengrasado previo con un desengrasante alcalino y un desengrasado posterior con alcohol isopropílico, con y sin ultrasonidos.

Por otra parte, se pusieron en funcionamiento otros estudios. En uno de ellos se logró optimizar los tiempos de inmersión de cada cuba. Además, se modificaron las concentraciones en tanto por ciento en peso de cada disolución favoreciendo, de este modo, la mejora del pavonado.

**Palabras clave:** Pavonado, protección del acero, optimización de procesos.

## 1. RESUM

Es tracta d'una proposta per part de l'empresa FORADIA,S.A.L. L'empresa disposa d'una estació de pavonat en gelat per a donar un tractament superficial a peces metàliques d'acer que les protegeixen front agents externs com la corrosió.

Aquesta proposta es durà a terme mitjançant la realització d'un treball la finalitat del qual es centra principalment en l'anàlisi i estudi del procés de pavonat en gelat. Amb l'objectiu d'obtenir un pavonat de qualitat estable amb el temps.

Durant el desenvolupament d'aquest procés, fan falta 4 fases prèvies (un desengrasant, un aclarat amb aigua, un acondicionant, un aclarat amb aigua), 1 fase principal (pavonat) i 2 fases finals (un aclarat amb aigua y un bany amb oli hidròdob).

Amb la finalitat d'aconseguir els objectius proposats per l' empresa, es va reproduir, en primer lloc, el procés de pavonat a nivell de laboratori en una planta pilot formada per 7 cubes. A partir de la consecució dels resultats, es van dur a terme distints experiments a nivell industrial.

Amb el motiu de l'alt contingut en matèria orgànica e inorgànica en la superfície de les peces metàliques sotmeses a pavonat, es va realitzar un primer estudi sobre el pretractament superficial d'aquestes peces. En ell, es va dur a terme la realització d'una serie de proves de desengrasant.

- Desengrasat amb un desengrasant alcalí.
- Desengrasat amb un desengrasant alcalí en una cuba d'ultrasones.
- Desengrasat amb alcohol isopropílic.
- Desengrasat amb alcohol isopropílic en una cuba d'ultrasones.
- Desengrasat previ amb un desengrasant alcalí i un desengrasat posterior amb alcohol isopropílic, amb o sense ultrasones.

Per altra banda, es van posar en funcionament altres estudis. En un d'ells es va aconseguir optimitzar els temps d'inmersió de cada cuba. Ademés, es va modificar les concentracions en tant per cent en pes de cada dissolució afavorint, d'aquesta manera, la millora del pavonat.

**Paraules clau:** Pavonat, protecció del acer, optimització de processos.

## 1. ABSTRACT

This is a proposal by the company FORADIA, S.A.L. The company has a cold Blacking station to give a surface treatment to steel metal pieces that protect them against external agents such as corrosion.

This proposal will be carried out by performing a project whose purpose is primarily focused on the analysis and study of cold pavonado process, in order to get a pavonado stable quality over time.

During the development of this process, four previous phases will be needed: degreasing, wáter rinsing, conditioning, wáter rinsing. Subsequently a main phase (pavonado) will be applied and finally, two more final stages: water rinsing and soaking in a hydrophobic oil will be added to complete the whole process.

In order to achieve the objectives set by the company, in the first place the process of pavonado was reproduced in the laboratory in a pilot plant which consists of seven vats. From the attainment of results different experiments were conducted in industry.

Due to the high content of organic and inorganic material on the surface of the metal pieces submitted to blacking, a first study on the surface pretreatment of the piece was performed. In it, a series of degreasing tests was conducted performing.

- Degreasing with an alkaline degreaser.
- Degreasing with an alkaline degreaser in an ultrasonic vat.
- Degreasing with isopropyl alcohol.
- Degreasing with isopropyl alcohol in an ultrasound vat.
- Previous degreasing with an alkali degreaser and a degreased later with isopropyl alcohol, with or without ultrasound.

On the other hand, other studies were put into practice. In one of them it was possible to optimize immersion times in each tank. Furthermore, the concentrations in weght percentage were changed favouring dissolution, thus improving blacking.

**Keywords:** Blacking (“Pavonado”), Steel protection, process optimization.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Foradia es una empresa que lleva casi 100 años en la industria metalúrgica. Esta empresa se establece en Alcoy. Se trata de una empresa donde se fabrica maquinaria a medida, desde piezas sencillas hasta piezas complejas y hechas a medida.

Actualmente está formada por un equipo de 10 ingenieros y 22 personas encargadas de producir desde piezas sencillas hasta mecanizados complejos y exigentes en diversos materiales, montajes industriales, reconstrucción de máquinas-herramienta. Se trata de una empresa que trabaja con una gran diversidad de mecanizado de piezas férreas y no férreas de distintas durezas y complejidad.

Por otra parte, la empresa hoy en día pavona piezas de tamaño pequeño-medio, utilizadas para la fabricación de maquinaria. Se pavonan piezas de acero, rectificadas y no rectificadas.

## 3. ANTECEDENTES

La empresa dispone de una estación de pavonado en frío, donde se ha ido utilizando desde hace 5 años para dar un tratamiento y un mejor acabado a determinadas piezas construidas en acero que se utilizan habitualmente en la fabricación de maquinaria.

Con el paso del tiempo se han producido distintas situaciones en las que el pavonado de las piezas no ha sido el deseado y la empresa no ha sido capaz de identificar las causas por las cuales se ha producido este mal funcionamiento. Esto ha producido que no puedan abastecer las necesidades de algunos clientes debido a la demanda de piezas pavonadas, las cuales no se obtienen con la calidad deseada.

## 4. INTRODUCCION

El siguiente trabajo tiene por finalidad llevar a cabo una mejora en el proceso del pavonado a nivel industrial en la empresa de FORADIA, S.A.L, dónde se realizó las prácticas de empresa con una duración de 3 meses. Mi trabajo en esta empresa estuvo enfocado en la investigación y desarrollo de dicho proceso. Como información previa del proceso de pavonado contaba con los datos proporcionados por la experiencia de los trabajadores y fichas técnicas proporcionadas por proveedores.

El pavonado es un tipo de recubrimiento, un recubrimiento en un metal se refiere a una fina capa de un determinado material, relativamente delgada, que recubre la superficie de un metal. Este tipo de recubrimientos en los metales se aplican para mejorar alguna propiedad de estos. El recubrimiento sólo influye sobre las propiedades ligadas a la superficie, como viene a ser la resistencia a la corrosión.

Uno de los recubrimientos importantes que lleva estudiándose desde hace unos años en el sector de la metalurgia, consiste en el pavonado ya que se trata de un tratamiento poco costoso y bastante eficaz.

El pavonado es la protección contra la corrosión de toda la superficie del metal, el color negro de la pieza no es más que la oxidación de la superficie de éste de manera controlada formándose así óxido férrico, que protege el hierro. Se forma una fina capa que recubre el metal y al mismo tiempo lo protege frente a los agentes externos. Esta fina capa no es homogénea, en la superficie de la pieza habrá poros donde no se haya oxidado debido principalmente a partículas de suciedad o grasa no visible al ojo humano y es por aquí por donde la corrosión es más fuerte, ya que sólo puede penetrar por esta pequeña superficie y lo hará hacia el interior, existiendo la posibilidad de formación de pilas locales.

Se sabe que el recubrimiento de un metal se basa en la adherencia con el sustrato, esto quiere decir que cualquier material presente en la superficie del metal a recubrir influirá en dicho proceso.

Esta es una de las cosas en el proceso de pavonado en el que muchas veces se presta poca atención, el desengrase de la pieza a pavonar, cuando en realidad es uno de los pasos más importantes del proceso.

Cualquier material presente en la superficie del metal a pavonar tendrá influencia en este proceso. El depósito de materiales sobre la superficie de la pieza ocasionará defectos en el recubrimiento, no sólo en lo referido a la adherencia, resistencia a la corrosión o continuidad del recubrimiento, sino también en el acabado estético. La obtención de recubrimientos de alta calidad depende del pre-tratamiento adecuado de la superficie del metal a pavonar.

Las impurezas normalmente provienen de etapas anteriores al recubrimiento. Las impurezas que nos podemos encontrar pueden ser de tipo orgánico e inorgánico. Las impurezas inorgánicas son los óxidos, hidróxidos que se pueden formar en los tratamientos térmicos y mecánico. Y las de tipo orgánico provienen de lubricantes empleados en las operaciones mecánicas previas.

Luego de un adecuado pre-tratamiento superficial, será necesario pavonar en diferentes condiciones tanto de temperatura como de tiempo.

## 4.1. PARTE TEORICA DE MATERIALES A PAVONAR

### 4.1.1. COMPOSICIÓN DEL ACERO

El acero es una aleación de hierro y carbono que contiene otros elementos, los cuales le confieren unas propiedades específicas. Los elementos principales que forman los aceros son los siguientes: El Níquel, Cromo, Manganeso, Vanadio, Tungsteno, Cobalto, Molibdeno, Azufre, Fósforo y Cobre, dónde según el porcentaje presente de cada uno de ellos, le otorgará unas propiedades u otras.

La superficie de un material es la región más sensible a las agresiones del entorno, los problemas que afectan a la superficie ya sea desgaste, oxidación, fricción o corrosión, se trata de un deterioro donde se necesita un consumo energético mínimo debido a que los enlaces que unen a los átomos de las capas superficiales son débiles y no son capaces de hacerle frente a las fuerzas y ataques químicos del entorno.

### 4.1.2. OXIDACIÓN

La oxidación es el proceso mediante el cual un compuesto pierde electrones. El proceso de oxidación va ligado al proceso de reducción, ya que si un compuesto pierde electrones otro tiene que ganarlos.

La oxidación hace que empeore considerablemente las propiedades mecánicas del metal oxidado ya que los óxidos son bastante más frágiles que los metales puros de los que provienen. Por esto mismo la vida útil de cualquier máquina industrial depende significativamente de la velocidad de oxidación de los materiales que lo componen.

#### 4.1.3. PROTECCIÓN CONTRA LA OXIDACIÓN

Existen varias formas de proteger los metales de la oxidación con mayor o menor efectividad y con mayor o menor coste. Una de las formas con la cual se consigue una gran protección contra la corrosión es la aleación con cromo y níquel para formar los aceros inoxidable. Otra forma para evitar la oxidación es la de recubrir la pieza con una capa de óxido de manera controlada, lo que viene siendo el pavonado.

#### 4.1.4. CORROSIÓN

La corrosión se define como la destrucción de un metal debido a determinadas influencias químicas. Este proceso es tan frecuente debido a que los metales reaccionan con el medio ambiente de forma espontánea, produciendo una capa de óxido.

A temperatura ambiente el proceso de corrosión que predomina es el electroquímico, es decir, el desgaste de los metales ocurre por disolución anódica. Una reacción anódica es siempre una reacción de oxidación y por lo tanto estas reacciones tienden a destruir el metal anódico disolviéndolo como un ión o haciendo que vuelva a su estado combinado, como por ejemplo el óxido férrico.

#### 4.1.5. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

Una de las principales maneras de proteger un metal frente a la corrosión, es el recubrimiento del mismo, como por ejemplo el recubrimiento con una fina capa de pintura. Este tipo de protección es usado para aislar las regiones anódicas y catódicas para así poder impedir la difusión del oxígeno o del vapor de agua, los principales factores que aceleran la corrosión. Por otra parte podemos proteger los aceros de la corrosión mediante un proceso de pavonado en frío, más eficaz.

## 5. PROCESO DE PAVONADO ACTUAL EN LA EMPRESA

La empresa tiene una estación de pavonado compuesta por 7 cubas de 30x70x15 cm (ancho, profundidad, altura) completamente automatizada mediante un autómata (SIEMENS LOGO 24RC) en el cual se programa el tiempo que deben de permanecer las piezas dentro de cada cuba, dependiendo de la disolución que se trate estará más o menos.

El tiempo durante el cual las piezas permanecían inmersas en las cubas fue el siguiente: 25' en la cuba de desengrasante, 3' en la cuba de aclarado con agua, 3' en la cuba del acondicionador, 3' en la cuba de aclarado con agua, 25' en la cuba de pavonado, 3' en la cuba de aclarado con agua y por último 1' en la cuba del aceite hidrófobo.



*Ilustración 1. Máquina industrial pavonadora*

En la ilustración 1 podemos ver la máquina industrial automatizada, donde se pavonan las piezas. Se pueden distinguir 7 cubas fijas y 2 móviles, la primera recorre las 6 primeras cubas mediante un sistema automatizado y la segunda está fija en la séptima cuba donde las piezas se sumergen en el aceite hidrófobo.

## 6. ESTUDIO DEL PROCESO DE PAVONADO

El estudio del proceso de pavonado se ha basado en reproducir este proceso a pequeña escala (planta piloto) con cubas de Polipropileno (PP) y disoluciones preparadas desde cero con agua destilada y líquidos Blackfast proporcionados por la empresa. Cada cuba contenía un volumen de 2 dm<sup>3</sup>. Se aumentó la concentración del desengrasante alcalino Blackfast 716, llevándolo desde un 50% en agua a un 60%.



*Ilustración 2. Cubas de polipropileno con las respectivas*

En la ilustración 2 podemos ver 4 de las 7 cubas que componen la planta piloto utilizada para hacer distintas pruebas de pavonado sobre piezas pequeñas. La primera cuba contiene el desengrasante, la segunda contiene H<sub>2</sub>O, la tercera el acondicionador y la cuarta H<sub>2</sub>O.



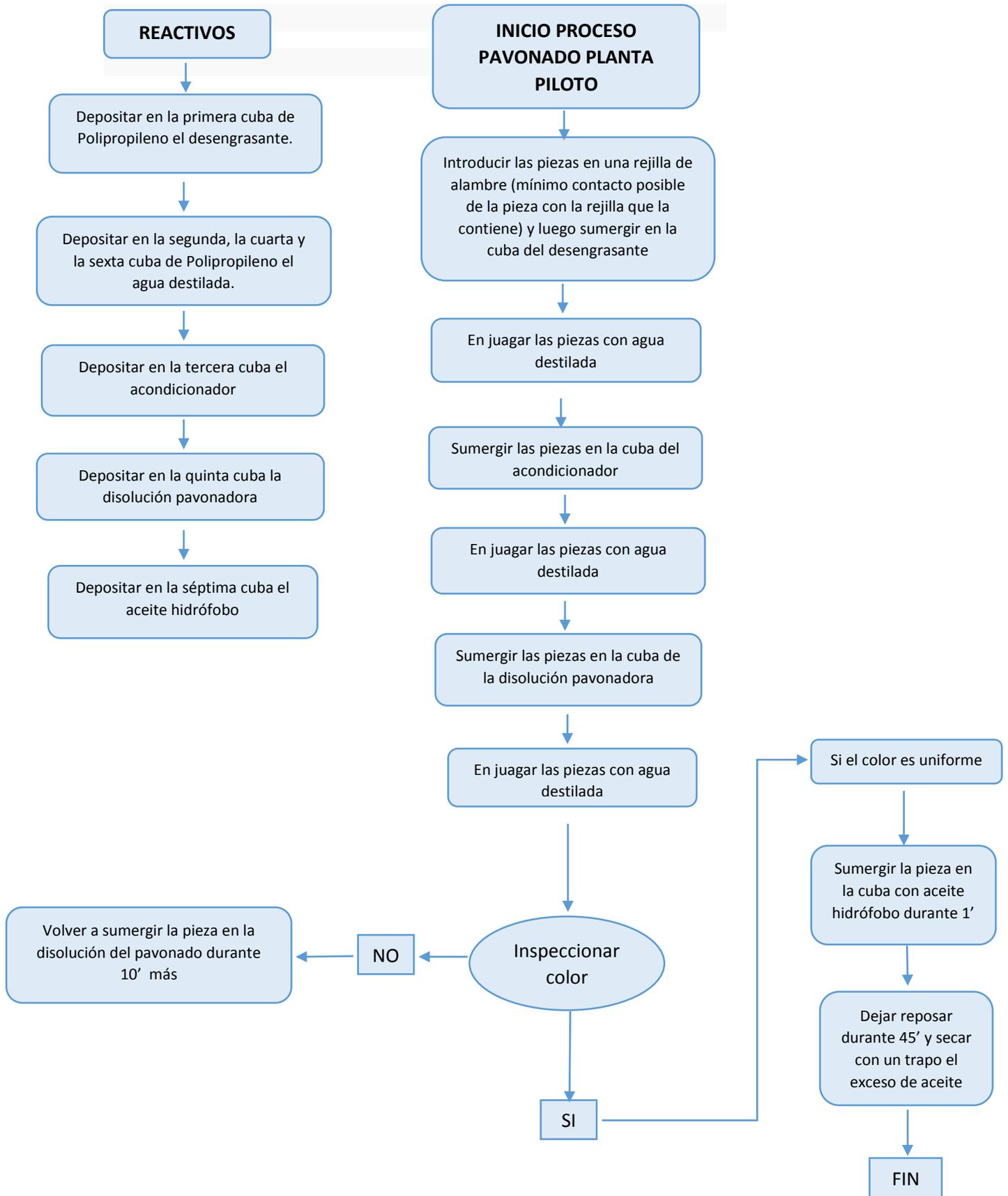
*Ilustración 3. Cubas de polipropileno con las respectivas disoluciones*

En la ilustración 3 podemos ver las tres cubas restantes que componen la planta piloto, la primera contiene la disolución pavonadora, la segunda contiene H<sub>2</sub>O y la tercera aceite hidrófobo.

Por otra parte se optimizó el tiempo de inmersión de las piezas en cada cuba, dónde las piezas se deben de sumergir primeramente durante 17' en la disolución del desengrasado (si se hace con ultrasonidos con 12' bastaría), 30'' en remojo con agua (H<sub>2</sub>O), 50'' en la disolución del acondicionador, 10' en la cuba del pavonado y por último 10' en el aceite hidrófobo. El tiempo total del proceso de pavonado de la pieza fue de 39'10''. Por último las piezas deben de permanecer durante 45' secándose al aire libre antes de ser secadas con un trapo, para darle consistencia al pavonado de la pieza y así prolongar la aparición de zonas corroídas en las piezas.

Se utilizó una cuba de ultrasonidos para la mejora de la limpieza de las piezas, dónde se introdujeron dentro de un recipiente de cristal/plástico (preferentemente de cristal ya que la transmisión de ultrasonidos es mejor). Dentro del recipiente se introdujo la pieza junto a la disolución de desengrasante Blackfast 716. Para una mejor limpieza de la pieza se utilizó alcohol isopropílico (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O), bañando las piezas con este alcohol luego del desengrasado con ultrasonidos, o también con un trapo mojado con isopropílico aplicando una pasada sobre la superficie.

A continuación se muestra un diagrama del proceso de pavonado en planta piloto:



### 6.1. MATERIALES NO APTOS PARA SER PAVONADOS

Las piezas con altos porcentajes (más de un 12%) de Aluminio (Al), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn) no se pueden pavonar con este tipo de procedimiento.

En ocasiones la cinética de la reacción es bastante lenta, y por esto el ennegrecimiento se produce con cierta dificultad, es el caso del hierro fundido, el de algunas chapas de hierro laminadas en frío y las piezas rectificadas.

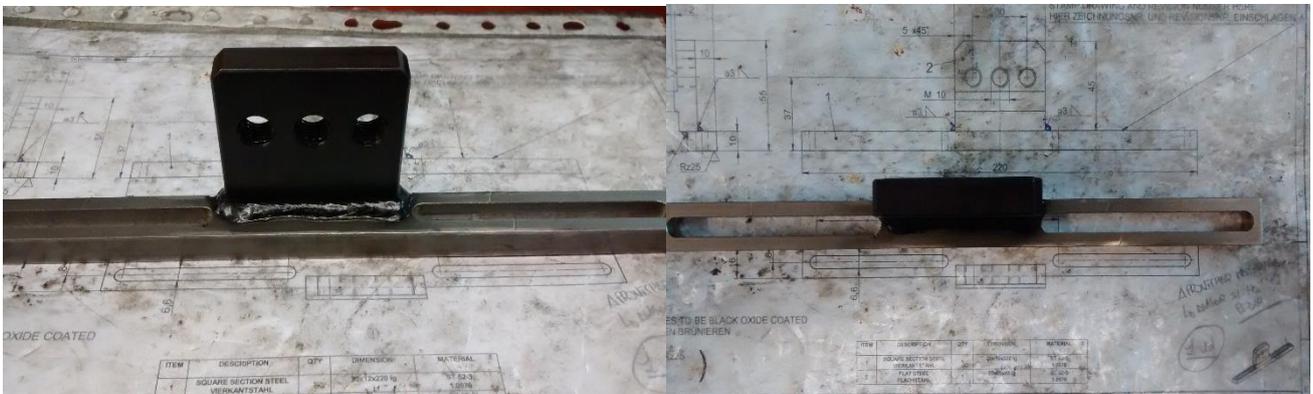


Ilustración 4. Parte superior de hierro dulce y parte inferior de acero inoxidable

En la siguiente imagen se puede ver un ejemplo claro de cómo el acero inoxidable no se puede pavonar, ya que se trata de una aleación de hierro, carbono y cobre (o níquel), teniendo un alto porcentaje de cobre/níquel. La parte superior es hierro dulce donde se aprecia cómo se pavonó perfectamente, por otra parte, la parte inferior es de acero inoxidable donde observamos en la imagen que no se pavonó absolutamente nada. Una de las pruebas que se hizo para saber que era acero inoxidable fue acercar la parte pavonada y la no pavonada a un imán, comprobando que la pavonada era magnética y la no pavonada no lo era. Esto se debe a que los aceros inoxidables de tipo austeníticos tienen una gran cantidad de Cromo (Cr) o Níquel (Ni).

## 7. OBJETIVOS

### 7.1. OBJETIVO GENERAL.

Como objetivo general se planteó realizar un estudio para conseguir un buen funcionamiento de la máquina de pavonado que haga un pavonado de calidad y estable con el tiempo.

### 7.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Se planteó como objetivo específico la puesta en marcha de un modus operandi compatible con la ley de prevención de riesgos laborales, identificación de las etapas responsables del mal funcionamiento del pavonado, optimización de los procesos para mejorar el pavonado de las piezas y la caracterización de los defectos que aparecen en las piezas pavonadas.

## 8. EXPERIMENTAL

### 8.1. PRIMERA CUBA (DESENGRASANTE ALCALINO LIGERO BLACKFAST 716)

#### 8.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

- 2,2 – OXIDIETANOL (Dietilenglicol)  $C_4H_{10}O_3$  → 10-30 %
- HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH) → 1-10%
- ETOXILADO (Bisfenol A) → 1-10%

#### 8.1.2. APLICACIÓN

El desengrasante ligeramente alcalino Blackfast 716 se utiliza para la preparación y desengrasado de las superficies del metal a pavonar. El tiempo de inmersión variará de acuerdo con las condiciones del componente. Los componentes con más aceite y grasa deben de ser tratados primero con un desengrasante soluble.

La eficacia del desengrasante Blackfast puede comprobarse examinando las piezas desengrasadas después del aclarado con agua. Si las piezas al sacarlas del aclarado muestran partes secas esto indica que la superficie está todavía contaminada con aceite o grasas y requiere un mayor desengrasado.

#### 8.1.3. VOLUMEN CUBA

Volumen cuba de ensayo →  $2 \text{ dm}^3$

Volumen cuba máquina industrial → Ancho = 3 dm

Altura = 0.9 dm

Profundidad = 7 dm

}  $V = 18,9 \text{ dm}^3$

#### 8.1.4. ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO ACTUALES

- En esta primera cuba donde se desengrasan las piezas (con Blackfast 716), la agitación utilizada no es la adecuada debido a que levanta los restos que hay en el fondo de ésta, lo cual provoca que los restos se depositen sobre la superficie de las piezas a pavonar, provocando que sobre estas zonas no se pueda adherir correctamente la disolución de pavonado.



*Ilustración 5. Pieza con suciedad perteneciente del fondo de la cuba de desengrasante*

#### 8.1.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS DEFECTOS QUE APARECEN EN LAS PIEZAS PAVONADAS

- A. En las piezas aparecen zonas dónde no se han pavonado bien, zonas sin pavonar y zonas con un color más claro.
- B. También aparecen zonas sin pavonar en forma de burbuja.

#### 8.1.5.1. Identificación de las causas para cada tipo de defecto

- A. Esto es debido al desengrasado previo, donde no se aplica correctamente el este procedimiento en la primera cuba. Hay piezas que con una aplicación del desengrasante alcalino Blackfast 716 no basta, piezas con un alto nivel de grasa necesitan un post-tratamiento con alcohol isopropílico o un pre-tratamiento con un desengrasante soluble proporcionado por Blackfast.

Estas zonas sin pavonar también pueden ser debido al contacto de la pieza con la cuba que las contiene.

Por otra parte una de las causas de estos defectos puede ser la aparición de restos en la superficie de las piezas a pavonar en la primera cuba, dónde al agitar por inyección de aire todos los restos que hay al fondo de la cuba se depositan en la superficie, esto provoca que la disolución de pavonado no se pueda adherir correctamente.

- B. Esto puede ser debido al tipo de agitación, dónde al agitar por inyección de aire aparecen burbujas que se depositan en la superficie de las piezas. Éste error es acumulado durante todo el proceso, dando lugar a la aparición de manchas circulares sin pavonar en la superficie de las piezas o zonas con un color más claro.



Ilustración 6. Burbujeo provocado por el tipo de agitación.

#### 8.1.6. DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS

- A. Utilización de cuba de ultrasonidos para la limpieza de las piezas, y uso de alcohol isopropílico ( $C_3H_8O$ ) para el desengrase total de las piezas a pavonar.

- 1) En nuestro caso, al utilizar un desengrasante que contiene Dietilenglicol y Bisfenol (dos alcoholes) no podemos instalar directamente los emisores de ultrasonidos en la cuba, ya que los alcoholes tienen punto de inflamación, y si hubiese algún tipo de fuga podría dar lugar a una combustión. Por otra parte como los alcoholes son bastante volátiles, se podría desprender gases tóxicos. Por lo cual, la única manera de utilizar ultrasonidos es hacerlo en un “baño”, esto consiste en introducir agua o agua con jabón (detergente) en la cuba de la máquina y luego introducir dentro de la cuba, un recipiente de vidrio que a su vez éste contenga el desengrasante y las piezas a desengrasar. Esto se hace para que no esté en contacto directo los emisores de ultrasonidos con el desengrasante que contiene alcoholes.
- 2) Reducir la superficie de contacto de las piezas con la rejilla que las contiene, utilizando una serie de rodillos en vez de esta rejilla y aplicar un movimiento de vaivén de las cubas que permita que las piezas estén en continuo movimiento, y así evitar que éstas estén siempre apoyadas sobre la rejilla en el mismo punto. Utilizar una tela de algodón en la cuba de pavonado (para piezas pequeñas) donde se apoyen las piezas y así conseguir que estas no estén en contacto directo con la rejilla.



*Ilustración 7. Prueba de piezas pavonadas en contacto con una tela.*

- 3) Bajar la cuba a la mitad en vez de llegar hasta el fondo de ésta y así conseguir que se depositen el mínimo posible de restos sobre las piezas, y limpiar la cuba con mayor frecuencia. Una vez finalizado el proceso de desengrasado aplicar con un trapo alcohol isopropílico sobre la superficie de las piezas, en caso de no utilizar ultrasonidos.

- B. Cambiar el tipo de agitación, utilizar un agitador industrial de bajas velocidades en vez de una agitación por inyección de aire, para evitar burbujas que se puedan quedar en la superficie de las piezas. Otra opción, hasta que se cambie el proceso de agitación, podría ser poner un ventilador pequeño como los de los ordenadores en la parte de arriba de la cuba y que estuviese encarado hacia el fondo de ésta para que así el aire arrastrase la espuma de la superficie hacia el fondo.

#### 8.1.6.1. *Evaluación de la eficiencia de las medidas correctoras y cambios*

- A. La utilización de ultrasonidos supone un desengrase de las piezas más a fondo, debido a la frecuencia en la que trabaja (20KHz aproximadamente) y por lo tanto una eficiencia bastante mayor a diferencia del desengrase en una cuba con agitación. La utilización de alcohol isopropílico permite la limpieza deseada para una mejor adherencia del pavonado sobre la pieza.

Utilizando esta serie de rodillos nos permitirá obtener un mejor resultado en el pavonado de la parte de las piezas que están en contacto con la rejilla.

Por otra parte, bajar la cuba hasta la mitad, nos permitiría reducir la deposición de los restos situados al fondo de la cuba sobre la superficie de las piezas y por lo tanto aumentar la eficiencia del pavonado de las piezas.

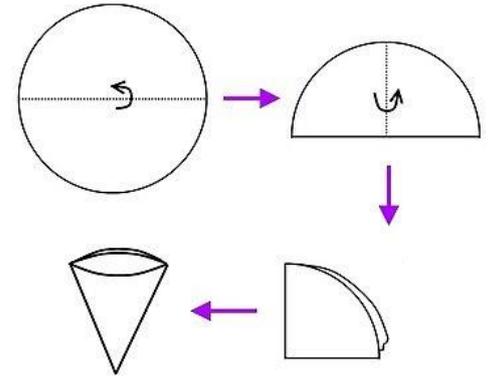
- B. Cambiar el tipo de agitación permitirá que no se formen burbujas en las superficies de las piezas y por lo tanto que se pavonen mejor. También permitirá, como hemos dicho anteriormente, que no se depositen restos sobre la superficie de las piezas.

### 8.1.7. MEDIDAS DE CONTROL DE LAS DISOLUCIONES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO

➤ Medida de control de la disolución de desengrasante:

Cada 8-10 desengrasados retirar un 10% de la disolución contenida en la cuba y rellenar con disolución nueva.

Por otra parte, cuando hacemos el desengrasado de una pieza y sobre su superficie aparecen restos de materia orgánica, esto significa que hay que limpiar la cuba mediante el vaciado de ella, filtrando todo el líquido con un papel de filtro de laboratorio y un embudo. Observar si tarda mucho en filtrar y si es así cambiar el papel de filtro. Una vez vaciado limpiar la cuba con agua y jabón. Si una vez limpia continúan apareciendo restos de materia orgánica, debido a la grasa de las piezas, sobre la superficie de la pieza quiere decir que se requiere un cambio de la disolución, por estar agotada.



Las siguientes imágenes muestra cómo se debe de hacer el filtrado en nuestro caso:



*Ilustración 8. Filtrando las disoluciones con papel de filtro*

Se utilizó esta técnica de filtrado por gravedad para no aumentar los costes a la empresa, ya que en la técnica de filtrado al vacío es necesario utilizar una bomba de succión.

Otra manera de medir si la concentración del desengrasante es la adecuada o la disolución está bastante contaminada, es midiendo el pH de la ésta con un “pH-metro” o con “papel indicador Universal de pH”. En este caso si el pH está por debajo de 9 o por encima de 13’5, significa que está para cambiar.

## 8.2. SEGUNDA CUBA (AGUA DESTILADA)

### 8.2.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

➤ H<sub>2</sub>O

### 8.2.2. APLICACIÓN

El agua destilada se utiliza para limpiar la pieza de los posibles restos del producto químico utilizado en la cuba anterior.

### 8.2.3. VOLUMEN CUBA

Volumen cuba de ensayo → 2 dm<sup>3</sup>

Volumen cuba máquina industrial → Ancho = 3 dm

Altura = 0.9 dm

Profundidad = 7 dm

V = 18,9 dm<sup>3</sup>

### 8.2.4. MEDIDAS DE CONTROL DE LAS DISOLUCIONES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO

En esta cuba la medida de control aplicable sería medir el pH del agua y si dista mucho (menos de 6 y más de 8) cambiar el agua destilada.

### 8.3. TERCERA CUBA (ACONDICIONADOR BLACKFAST 551)

#### 8.3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

- CLORURO DE HIDROXILAMONIO ( $\text{H}_3\text{NO.HCl}$ )  $\rightarrow < 1\%$

#### 8.3.2. APLICACIÓN

El acero endurecido y la fundición no necesitan acondicionador pero para la mayoría de los aceros y especialmente el acero dulce, la utilización de Blackfast-551 produce una superficie homogénea lista para el pavonado. Después de desengrasar (y decapar si es necesario) los aceros están limpios pero normalmente tienen variaciones en su superficie que, si no son tratadas pueden dar como resultado superficies mal pavonadas.

#### 8.3.3. VOLUMEN CUBA

Volumen cuba de ensayo  $\rightarrow 2 \text{ dm}^3$

Volumen cuba máquina industrial  $\rightarrow$  Ancho = 3 dm

Altura = 1,15 dm

Profundidad = 7 dm

V = 24,15  $\text{dm}^3$

#### 8.3.4. ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO ACTUALES

- En la tercera cuba donde se acondicionan las piezas para poder ser pavonadas (con Blackfast 551) las piezas permanecen en ella demasiado tiempo, produciendo un sobre acondicionamiento en ellas y esto provoca que aparezcan manchas en las piezas pavonadas.

### 8.3.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS DEFECTOS QUE APARECEN EN LAS PIEZAS PAVONADAS

- Aparecen zonas pavonadas con un color más claro (color azulado).

#### 8.3.5.1. *Identificación de las causas para cada tipo de defecto*

- Una de las causas de este defecto es el sobre- acondicionamiento de las piezas, ya que las piezas no deben de estar más de 1' sumergidas en la disolución de Blackfast 551 acondicionador.

### 8.3.6. DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS

- Las piezas deben de estar sumergidas dentro de la cuba del acondicionamiento no más de 1', en nuestro caso 50". Para que no se produzca un sobre- acondicionamiento de las piezas.

#### 8.3.6.1. *Evaluación de la eficiencia de las medidas correctoras y cambios*

- Sumergir las piezas más de 1' minuto en la disolución de acondicionado es negativo para el resultado del pavonado de las piezas, en nuestro caso con sumergirlas 50" aproximadamente, conseguimos un acondicionamiento óptimo de las piezas.

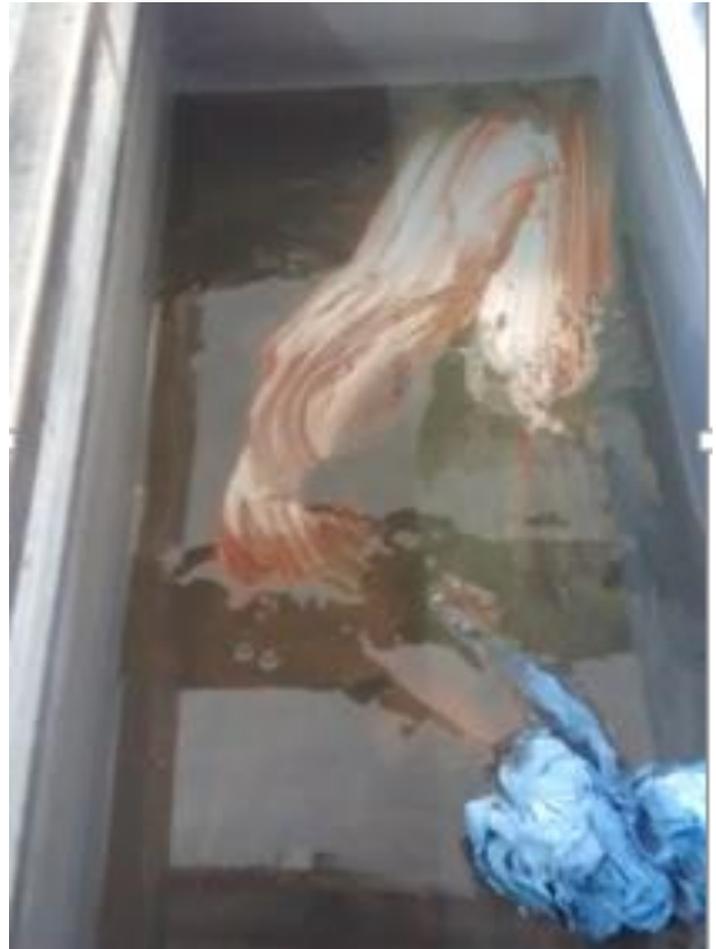
### 8.3.7. MEDIDAS DE CONTROL DE LAS DISOLUCIONES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO

- Medida de control de la disolución del acondicionado:

Cada 3 o 4 semanas retirar un 10% de la disolución contenida en la cuba y rellenar con disolución nueva.

Por otra parte al igual que en la disolución de desengrasante, si en el fondo de la cuba hay restos de materia, es conveniente vaciar y filtrar la cuba (mismo método que en la cuba de desengrasante). Cambiar la disolución si al pavonar las piezas aparecen zonas con manchas azuladas, esto quiere decir que la concentración del acondicionador ya no es la adecuada.

Otra manera de medir si la concentración del acondicionador es la adecuada o la disolución está bastante contaminada, es midiendo el pH de la disolución con un “pH-metro” o con “papel indicador Universal de pH”. En este caso si el pH está por debajo de 1,5 o por encima de 4, significa que está para cambiar la disolución.



*Ilustración 9. Suciedad depositada en el fondo de la cuba.*

## 8.4. CUARTA CUBA (AGUA DESTILADA)

### 8.4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

➤ H<sub>2</sub>O

### 8.4.2. APLICACIÓN

El agua destilada se utiliza para limpiar la pieza de los posibles restos del producto químico utilizado en la cuba anterior.

### 8.4.3. VOLUMEN CUBA

Volumen cuba de ensayo → 2 dm<sup>3</sup>

Volumen cuba máquina industrial → Ancho = 3 dm

Altura = 1.1 dm

Profundidad = 7 dm

V = 23.1 dm<sup>3</sup>

### 8.4.4. MEDIDAS DE CONTROL DE LAS DISOLUCIONES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO

En esta cuba la medida de control aplicable sería medir el pH del agua y si dista mucho (menos de 6 y más de 8) cambiar el agua destilada.

## 8.5. QUINTA CUBA (SOLUCIÓN PAVONADORA DE HIERRO Y ACERO BLACKFAST 181)

### 8.5.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

- DIFLUORURO DE POTASIO (KF) → 1-10%
- COMPUESTO DE SELENIO, EXCEPTO EL SULFOSELENIURO DE CADMIO → 1-10%
- SULFATO DE NÍQUEL (NiSO<sub>4</sub>) → 1-10%
- SULFATO DE COBRE (CuSO<sub>4</sub>) → 1-10%

### 8.5.2. APLICACIÓN

Esta disolución de Blackfast 181 pavonará químicamente fundición, hierro y aceros a temperatura ambiente (25°C). La capacidad de pavonar puede verse afectada de forma adversa si las temperaturas son inferiores a 16°C. La preparación de las piezas a pavonar deben ser llevadas a cabo utilizando varios pasos que incluyen decapado, desengrasado y acondicionado, seguidos con un aclarado con abundante agua. Una vez la superficie está químicamente limpia y acondicionada (si es necesario), las piezas se sumergen en la disolución de Blackfast 181.

### 8.5.3. VOLUMEN CUBA

Volumen cuba de ensayo  $\rightarrow 2 \text{ dm}^3$

Volumen cuba máquina industrial  $\rightarrow$  Ancho = 3 dm

Altura = 1,4 dm

Profundidad = 7 dm

$V = 29,4 \text{ dm}^3$

### 8.5.4. ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO ACTUALES

- En esta cuba la disolución está hecha con agua mineral, este es uno de los problemas del mal pavonado de las piezas.
- Hay demasiada superficie de contacto entre las piezas y la cuba que las contiene, esto provoca un pavonado defectuoso en estas zonas.

### 8.5.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS DEFECTOS QUE APARECEN EN LAS PIEZAS PAVONADAS

- Aparecen zonas pavonadas con un color más claro (color azulado).

#### 8.5.5.1. *Identificación de las causas para cada tipo de defecto*

- Esto puede ser debido al mal estado de la disolución y a que la disolución del pavonado está demasiado concentrada. Otra de las causas es que las disoluciones están hechas con agua mineral en vez de con agua destilada.

### 8.5.6. DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS

- Realizar test de valoración de la disolución de pavonado para saber la concentración de la cuba, no añadir más Blackfast 181 si no es necesario. Por más concentrada que esté la disolución no pavonará mejor, todo lo contrario, aparecerán zonas mal pavonadas.

Utilizar agua destilada en vez de agua mineral para que las posibles sales y los compuestos sulfurados que pueda contener esta agua no afecten al pavonado de la pieza.

#### 8.5.6.1. Evaluación de la eficiencia de las medidas correctoras y cambios

- Hacer bien el test de valoración, ya que se ha detectado en 2 ocasiones concentraciones inapropiadas por exceso o por defecto de la disolución de pavonado. Proporcionará una mejora en el pavonado de las piezas, ya que una concentración menor o mayor de la disolución conlleva a un mal pavonado.

Utilizar agua destilada en vez de agua mineral en las disoluciones nos permite una mayor eficiencia en el pavonado debido a que el agua mineral contiene sales y compuestos sulfurados que afectan negativamente al pavonado.



*Ilustración 10. Piezas perfectamente pavonadas.*

#### 8.5.7. MEDIDAS DE CONTROL DE LAS DISOLUCIONES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO

- Medida de control de la disolución del pavonado:

Continuar haciendo una valoración ácido-base con verde de Bromocresol como indicador. Seguir mismos pasos realizados hasta ahora.

La valoración ácido-base con verde de Bromocresol consiste en extraer 10ml de la disolución del pavonado y añadir 3 gotas de este indicador. Luego se va añadiendo NaOH (Sosa), a la vez que se agita, hasta que vuelve a su color original. Si son añadidos 20 mL de sosa, significa que la concentración de la disolución es correcta, si por el contrario se añade menos, por cada mL menos se debe de añadir 1'25% de la disolución pura del pavonado.

Por otra parte, si se observa que una vez pavonada la pieza, sobre su superficie hay depositados restos de materia (color blanquizco), es conveniente limpiar la cuba vaciándola y filtrándola utilizando el mismo método que en las cubas de desengrasante y acondicionador. Luego limpiar la cuba del mismo modo que las demás.

Otra manera de medir si la concentración del pavonado es la adecuada o la disolución está bastante contaminada, es midiendo el pH con un “pH-metro” o con “papel indicador Universal de pH”. En este caso si el pH no está comprendido entre 3’5-4 (pH muy ácido) aproximadamente, significa que está para cambiar.

## 8.6. SEXTA CUBA (AGUA DESTILADA)

### 8.6.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

➤ H<sub>2</sub>O

### 8.6.2. APLICACIÓN

El agua destilada se utiliza para limpiar la pieza de los posibles restos del producto químico utilizado en la cuba anterior.

### 8.6.3. VOLUMEN CUBA

Volumen cuba de ensayo → 2 dm<sup>3</sup>

Volumen cuba máquina industrial → Ancho = 3 dm

Altura = 1 dm

Profundidad = 7 dm

} V = 21 dm<sup>3</sup>

### 8.6.4. MEDIDAS DE CONTROL DE LAS DISOLUCIONES PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO

En esta cuba la medida de control aplicable sería medir el pH del agua y si dista mucho (menos de 6 y más de 8) cambiar el agua destilada.

## 8.7. SÉPTIMA CUBA (ACEITE HIDRÓFOTO MEDIO BLACKFAST 833)

### 8.7.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

- NAFTA, FRACCIÓN PESADA HIDRODESULFURADA → 70-90 %
- 4-HIDROXI-4-METIL-PENTANONA → 1-10%

### 8.7.2. APLICACIÓN

Después del aclarado en agua justo después del baño en Blackfast 181, las piezas pavonadas deben de ser sumergidas en un tanque de aceite hidrófobo durante 10 minutos. Luego se debe de sacar del baño y dejar secar al aire durante 45 minutos. Este procedimiento asegura que toda el agua sea eliminada de la superficie del componente y establece una barrera de protección contra la corrosión sobre la capa pavonada. El agua sobrante de las piezas se depositará en el fondo de la cuba debido a que su densidad es superior a la del aceite. Esta agua se debe de extraer periódicamente.

### 8.7.3. VOLUMEN CUBA

Volumen cuba de ensayo → 2 dm<sup>3</sup>

Volumen cuba máquina industrial → Ancho = 3 dm

Altura = 1.15 dm

Profundidad = 7 dm

} V = 24,15 dm<sup>3</sup>

### 8.7.4. DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS

- En la séptima cuba donde se sumergen las piezas en el aceite hidrófobo (con Blackfast 833), las piezas deben de estar 10 minutos sumergidas en este aceite para darle consistencia al pavonado y para eliminar la totalidad del agua que pueda estar en la superficie de las piezas, ya que esta agua podría oxidar la pieza. Posteriormente deben de estar 45 minutos secándose al aire, todo esto antes de limpiar el aceite con un trapo seco y limpio.

## 9. RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS EN CUBAS DE ENSAYO.

- Las primeras piezas se pavonaron en las cubas de ensayo donde lo único que se hizo fue optimizar el tiempo de inmersión en cada etapa y hacerlo de forma manual sumergiendo las piezas con una espátula y sacarla del mismo modo. Los resultados no fueron muy satisfactorios.



### 9.1. TABLA DE TIEMPOS DE INMERSIÓN PRIMERAS PRUEBAS.

1º Cuba	2º Cuba	3º Cuba	4º Cuba	5º Cuba	6º Cuba	7º Cuba
15'	3'	30''	3'	1'30''	3'	10'

- El resultado del pavonado empezó a mejorar cuando empezamos a limpiar las piezas con ultrasonidos y con alcohol isopropílico con distintos tiempos de inmersión.



### 9.2. TABLA DE TIEMPOS DE INMERSIÓN

1º Cuba (Ultrasonidos)	1º Cuba (Isopropílico)	2º Cuba	3º Cuba	4º Cuba	5º Cuba	6º Cuba	7º Cuba
15'	5'	3'	30''	3'	1'30''	3'	10'

## 10. RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS EN MÁQUINA INDUSTRIAL.

A las primeras piezas que se pavonaron en la máquina industrial se les aplicó previamente un lavado con ultrasonidos y los resultados no fueron los mismos que a pequeña escala. Luego se aumentó el tiempo de inmersión en la cuba de ultrasonidos, se paró la agitación por burbujeo y con estos cambios seguían saliendo igual de mal.

Más adelante se propuso seguir el mismo procedimiento, pero sumergiendo las piezas en la cuba a pequeña escala que contenía la disolución del pavonado. Se observó alguna mejora pero no muy significativa. Se filtraron todas las disoluciones de la máquina con el fin de eliminar todas las partículas de suciedad que estuviesen en suspensión y las que estuviesen depositadas en el fondo, y una vez hecho esto se limpió las cubas. Con esto obtuvimos un mejor resultado.



*Ilustración 11. Zonas mal pavonadas antes de implementar las medidas correctoras*

En la ilustración 11 podemos observar zonas mal pavonadas, donde en la primera imagen se ve que no se ha pavonado bien en una superficie lisa, y en la segunda imagen podemos ver que el pavonado no ha penetrado bien en una zona más compleja como es la zona de la rosca y ha empezado a corroerse por esa zona.



*Ilustración 12. Misma pieza bien y mal pavonada*

En la ilustración 12 se puede observar la misma pieza bien y mal pavonada. La pieza mal pavona fue antes de implementar las medidas correctoras, dónde se puede observar como hay una zona que no se ha pavonado bien y una vez implementadas las correspondientes medidas correctoras se obtuvo el resultado que se muestra en la parte inferior de la imagen.



*Ilustración 13. Misma pieza en distintas perspectivas*

En las siguientes imágenes se puede observar la calidad del pavonado obtenido al final de las prácticas realizadas en la empresa, se trata de un pavonado uniforme y duradero. Se trata de una pieza dónde hay zonas poco susceptibles a ser pavonadas, como son los orificios y las distintas esquinas dónde sin un buen desengrasado previo y una buena agitación esto sería impensable conseguirlo.



*Ilustración 14. Pieza con un pavonado uniforme*



*Ilustración 15. Pieza antes y después del pavonado*



*Ilustración 16. Piezas antes y después del pavonado*

En las ilustraciones 15 y 16 tenemos una comparativa del antes y el después del pavonado, dónde se puede apreciar un buen resultado en el pavonado de distintas piezas, distintas formas geométricas.



*Ilustración 17. Pieza uniformemente pavonada*

## 11. DECAPADO

Se trata de un proceso para eliminar el óxido de las piezas que no se puedan lijar para no dañar la superficie del metal. También se trata de un proceso auxiliar para poder recuperar piezas mal pavonadas.

### 11.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS DEFECTOS QUE APARECEN EN LAS PIEZAS PAVONADAS

- Piezas mal pavonadas en lugares dónde hay óxido.
- Piezas mal pavonadas en zonas donde hay pintura.

#### 11.1.1. Identificación de las causas para cada tipo de defecto

- Se necesita un proceso de decapado previo al desengrasado de las piezas, con un ácido diluido al 50% en agua destilada, (Ácido clorhídrico o Ácido oxálico). Verter el ácido sobre el agua, nunca el agua sobre el ácido ya que es una reacción fuertemente exotérmica (desprende calor).
- Se debe de eliminar esta pintura con un lijado previo.

### 11.2. DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS

- Utilización de un Ácido diluido al 50% (Ácido oxálico o Ácido clorhídrico) con agua destilada para eliminar los posibles óxidos que hayan en la pieza.
- Lijar las piezas.

### 11.3. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS Y CAMBIOS

- Hacer un decapado previamente a las piezas oxidadas permite eliminar el óxido contenido en las piezas y así conseguir un mejor pavonado sobre la superficie de éstas.
- Lijar las pizas para eliminar la pintura que pueda haber en la superficie para conseguir que se pavone por esa zona.

## 12. TABLA PH DISOLUCIONES

Tabla 1. pH teórico y experimental.

	<b>PH Teórico</b>	<b>PH Experimental</b>
<b>Desengrasante alcalino ligero</b>	12,00	11,30
<b>H<sub>2</sub>O (Cuba 1)</b>	7,00	6,45
<b>Acondicionador</b>	2,50-3,00	4,34
<b>H<sub>2</sub>O (Cuba 2)</b>	7,00	6,45
<b>Pavonado máquina industrial</b>	3,50-4,00	3,20
<b>H<sub>2</sub>O (Cuba 3)</b>	7,00	3,45
<b>Pavonado cuba de ensayo</b>	3,50-4,00	3,10

Los valores teóricos de los pH se obtuvieron de los documentos proporcionados por la empresa, donde el fabricante de dichos productos químicos indicaba los pH que debería de tener cada disolución. Por otra parte el pH experimental se obtuvo cogiendo una muestra de cada cuba y midiendo dicho pH con un pHmetro en el laboratorio de la universidad.

La empresa anteriormente no controlaba de ninguna manera el pH de las disoluciones, esto era uno de los motivos por los cuales no conseguían un buen pavonado.

### 13. TABLA DE DEFECTOS/CAUSAS/MEDIDAS CORRECTORAS

Tabla 2. Defectos, causas, medidas correctoras

DEFECTOS	CAUSAS	MEDIDAS CORRECTORAS
Zonas sin pavonar	<p>Mal desengrasado previo.</p> <p>Hay demasiada superficie de contacto entre las piezas y la cuba que las contiene, esto provoca un pavonado defectuoso en las zonas de contacto.</p> <p>Aparición restos materiales sobre la superficie del metal en la primera cuba.</p>	<p>Utilizar ultrasonidos y alcohol isopropílico para el desengrasado total de la pieza.</p> <p>Utilizar una serie de rodillos y aplicarle un movimiento para que las piezas estén en continuo movimiento.</p> <p>Limpiar la cuba con más frecuencia, bajar la cuba hasta la mitad y limpiar las piezas con isopropílico al final del proceso de desengrasado.</p>
Marcas en forma de burbuja	Agitación por inyección de oxígeno.	Utilizar agitación industrial.
Zonas de color azulado	<p>Mal estado disolución pavonado y alta concentración de esta.</p> <p>Sobre-acondicionamiento de las piezas, permanecen demasiado tiempo en esta cuba.</p>	<p>Realizar test de valoración y no añadir más disolución de pavonado si no es necesario.</p> <p>Realizar las disoluciones con agua destilada en vez de con agua mineral.</p> <p>Sumergir las piezas en la disolución de acondicionado no más de 1'.</p>
Zonas sin pavonar dónde hay óxido	Sobre el óxido no se puede pavonar las piezas.	Decapado previo al desengrasado de la pieza.

## 14. TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS GENERADOS

Los residuos generados actualmente en la empresa son recogidos y tratados por, BATEXH GOMEZ, S.L. Se recogen cada 2 años aproximadamente ya que no se cambian las disoluciones muy a menudo.

La implementación de nuevos productos químicos en el proceso de pavonado no conlleva a realizar otro tipo de tratamiento, ya que se trata de un alcohol isopropílico y la misma empresa se podría encargar de ello.

## 15. RIESGOS POSIBLES Y MEDIDAS QUE SE DEBEN UTILIZAR

### 15.1. ULTRASONIDOS

El mecanismo generador de ultrasonidos en un baño consiste en un disco cilíndrico metálico con una lámina de cerámica piezoeléctrica en su interior, la cual vibra gracias a un transformador de alta frecuencia. La longitud de la onda sónica emitida va en función del grosor del disco emisor, y, por tanto, es fija e invariable.

Al aplicar un campo eléctrico a las superficies del disco de material piezoeléctrico, el disco vibra debido al efecto piezoeléctrico. Dicho efecto es propio de ciertos materiales, que son capaces de convertir la energía eléctrica en energía mecánica, y viceversa. Las vibraciones producidas por el disco se traducen en la emisión de ultrasonidos, que son transmitidas al disolvente del baño, que generalmente es agua.

#### 15.1.1. RIESGOS DEBIDOS A LA UTILIZACIÓN DE ULTRASONIDOS

Los riesgos debidos a la utilización de sistemas generadores de ultrasonidos se pueden dividir en tres tipos:

➤ Riesgos debidos a la exposición por contacto directo.

Este tipo de exposición se manifiesta principalmente en las manos. Es debido a un contacto directo entre el transductor y el operario. En este tipo de exposición se transmite la casi totalidad de energía de la onda al tejido expuesto. Causando daño por calentamiento de la piel, e incluso del hueso.

Este tipo de sobre exposición directa se manifiesta como: alteraciones funcionales del sistema nervioso, dolores de cabeza, vértigo, fatiga, modificaciones del reflejo y periféricas. Se considera peligroso y se deben evitar siempre las exposiciones que superen intensidades mayores de  $100 \text{ kW/m}^2$ .

➤ Riesgos debidos a la exposición indirecta por vía aérea.

En este tipo de exposición la onda ultrasónica viaja a través del aire, incidiendo sobre el oído del operario, pudiendo causar así una pérdida de oído y una serie de efectos subjetivos sobre el sistema nervioso central. La energía transmitida al operario en este caso se ve sensiblemente reducida en varios órdenes de magnitud. En consecuencia, en las condiciones habituales de trabajo en el laboratorio o en la industria la radiación ultrasónica indirecta puede considerarse inofensiva. Si bien es cierto que pueden darse ciertas molestias causadas por la componente sonora asociada a la radiación ultrasónica y que dependen de la susceptibilidad individual de la persona expuesta. Entre dichos síntomas se encuentran: náuseas, dolor de cabeza, mareos y fatiga.

Estos efectos no se manifiestan si el límite de presión (SPL) era menor de 75 dB para centros de banda de frecuencias de 1/3 de octava comprendidos entre 16 y 20 kHz, y menor de 110 dB para centros de banda iguales o por encima de 20 kHz.

➤ Riesgos debidos a las operaciones realizadas con ultrasonidos en el laboratorio.

1.1. Utilización de productos que reaccionan violentamente con el agua o el aire.

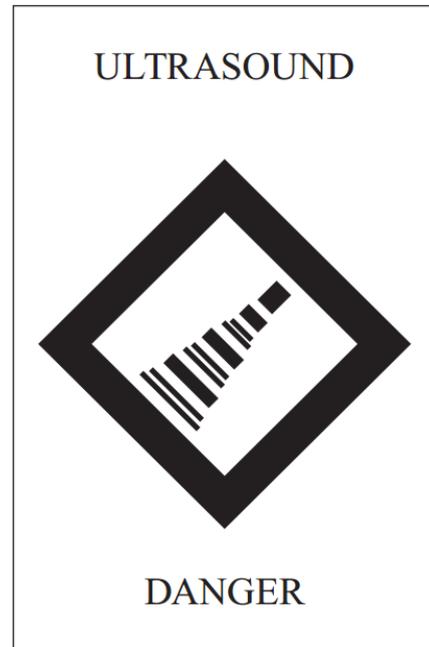
Ciertas sustancias (sustancias pirofóricas, compuestos organometálicos, metales alcalinos, bases organometálicas, etc.) sólo son estables en un medio seco y en una atmósfera inerte. Así pues, la ruptura accidental del reactor en el seno del baño de ultrasonidos puede provocar un incendio, y en el peor de los casos, una explosión.

## 1.2. Utilización de productos de alto riesgo para la salud humana.

La ruptura accidental del reactor puede provocar en este caso la formación de gases tóxicos (HCN, CO), irritantes (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Br<sub>2</sub>) o sofocantes (fosgeno, difosgeno, cloropicrina). Prevención de riesgos en el manejo de generadores de ultrasonidos.

A la hora de utilizar un generador de ultrasonidos se deberán tomar ciertas medidas de protección que garanticen la seguridad de los trabajadores.

Como primera medida de prevención se debe señalar convenientemente el área donde se encuentra el generador de ultrasonidos. Para ello se utilizará el símbolo de Peligro por exposición a ultrasonidos.



## 15.2. ALCOHOL ISOPROPÍLICO

### 15.2.1. Usos

En química, se utiliza para síntesis orgánica y como intermedio químico, funciona como disolvente para ceras, aceites vegetales, resinas naturales y sintéticas, ésteres y éteres de celulosa.

Como antiséptico, es menos irritante que el alcohol etílico, pero igualmente efectivo.

### 15.2.2. Medidas de seguridad

#### ➤ Ante el fuego:

A menos que el flujo pueda ser cortado, se debe utilizar: abundante agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, extintor de polvos químicos, extintor de dióxido de carbono. Las corrientes sólidas de agua pueden ser ineficaces.

➤ Vestimenta:

Lentes de seguridad, guantes, delantal o bata.

15.2.3. Identificadores Químicos del Alcohol Isopropílico (2-propanol)

➤ NFPA (Asociación Nacional de Protección contra el Fuego) 704 del Alcohol Isopropílico (2-propanol), Isopropanol:



Inflamabilidad 3. Líquidos y sólidos que pueden encenderse en casi todas las condiciones de temperatura ambiental.



Salud 1. Materiales que causan irritación, pero solo daños residuales menores aún en ausencia de tratamiento médico.



Inestabilidad / Reactividad 0. Materiales que por sí son normalmente estables aún en condiciones de incendio y que no reaccionan con el agua.



Inestabilidad / Reactividad. Materiales que por sí son normalmente estables aún en condiciones de incendio y que no reaccionan con el agua.

15.2.4. Peligrosidad del Alcohol Isopropílico (2-propanol)

➤ Número RTECS Registro de Efectos Tóxicos de Sustancias Químicas del Alcohol Isopropílico (2-propanol), Isopropanol:

NT8050000

➤ Ingestión del Alcohol Isopropílico (2-propanol), Isopropanol:

Síntomas en caso de ingestión: dolor abdominal, vértigo, asfixia, somnolencia, dolor de cabeza y náusea.

➤ Inhalación del Alcohol Isopropílico (2-propanol), Isopropanol:

Síntomas en caso de inhalación: tos, dolor de garganta, somnolencia y dolor de cabeza.

- Contacto con la piel del Alcohol Isopropílico (2-propanol), Isopropanol:

Enrojecimiento.

- Contacto con los ojos del Alcohol Isopropílico (2-propanol), Isopropanol:

Enrojecimiento, visión borrosa y dolor.

#### 15.2.5. Recomendaciones para el uso del Alcohol Isopropílico (2-propanol)

- Primeros Auxilios del Alcohol Isopropílico (2-propanol), Isopropanol:

Inhalación: respirar aire fresco, reposo, de ser necesario respiración artificial y atención médica inmediata.

Ingestión: No provocar vómito y si la persona está consciente dar a beber agua, llamar a un médico de manera inmediata.

Contacto con piel: quitar la ropa contaminada y lavar con abundante agua, pedir asistencia médica si los síntomas no mejoran.

Contacto con los ojos: lave con cuidado (de tener lentes de contacto, quitarlos), no poner ninguna sustancia sin indicación del médico, pedir asistencia médica aún en ausencia de síntomas.

- En caso de contacto con fuego del Alcohol Isopropílico (2-propanol), Isopropanol:

A menos que el flujo puede ser cortado intente apagar el fuego; use: agua pulverizada en grandes cantidades, espuma resistente al alcohol, polvos químicos, dióxido de carbono. Las corrientes sólidas de agua pueden ser ineficaces.

Ropa Protectora del Alcohol Isopropílico (2-propanol), Isopropanol:

Utilice lentes de seguridad, guantes y bata.

- Ventilación del local

La zona de trabajo con el alcohol isopropílico debe de estar perfectamente aireada y debe de haber una buena ventilación. En nuestro caso con abrir las ventanas que hay al lado de la máquina de pavonar sería suficiente.

## 16. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS PROPUESTAS

Tabla 3. Valoración económica.

Producto	Coste (€)
<p>Agitador industrial de varilla D-13, con velocidad regulable. (No conviene mucho debido a que tiene un par motor muy pequeño y teóricamente no conseguiría agitar una cuba de 20L) <a href="http://www.letslab.es/agitadores/agitadores-de-varilla/agitador-de-varilla-d-13.lab">http://www.letslab.es/agitadores/agitadores-de-varilla/agitador-de-varilla-d-13.lab</a></p>	230,40
<p>Agitador industrial de varilla D-15, con velocidad regulable. (Este tiene un par motor de 35Ncm, el cual teóricamente conseguiría agitar nuestras cubas) <a href="http://www.letslab.es/agitador-de-varilla-d-15.lab">http://www.letslab.es/agitador-de-varilla-d-15.lab</a></p>	523.30
<p>Agitador RZR-1, con velocidad regulable. (Este agitador sería el más conveniente para nuestra cuba, ya que tiene un par motor de 100Ncm y nos permitiría agitar nuestros fluidos con toda seguridad) <a href="http://www.letslab.es/agitador-rzr-1.lab">http://www.letslab.es/agitador-rzr-1.lab</a></p>	592.17
<p>Nuez doble Maxim (Para sujetar agitador) <a href="http://www.letslab.es/nuez-doble-maxim.lab">http://www.letslab.es/nuez-doble-maxim.lab</a></p>	22.84
<p>Generador ultrasonidos <a href="http://www.surfat.es/ultrasonidos/">http://www.surfat.es/ultrasonidos/</a></p>	380
<p>Emisores ultrasonidos x 6 unidades <a href="http://www.surfat.es/ultrasonidos/">http://www.surfat.es/ultrasonidos/</a></p>	650

Papel indicador pH (Cada 5 metros), alrededor de 100 aplicaciones. <a href="http://www.letslab.es/papel-indicador-ph.lab">http://www.letslab.es/papel-indicador-ph.lab</a>	8
Papel filtro rápido (100 unidades), 100 aplicaciones. <a href="http://www.letslab.es/1238-papel-filtro-rapido.lab">http://www.letslab.es/1238-papel-filtro-rapido.lab</a>	6
Alcohol Isopropílico, (botella de 1000 ml) (Venta en Farmacias y droguerías)	13
Ácido Clorhídrico con riqueza del 25% p/p (botella de 1000 ml) <a href="http://www.letslab.es/acido-clorhidrico-25.lab">http://www.letslab.es/acido-clorhidrico-25.lab</a>	21
Ácido Oxálico con riqueza del 99% (250g) <a href="http://www.letslab.es/acido-oxalico-2-h.lab">http://www.letslab.es/acido-oxalico-2-h.lab</a>	16.32
Agua destilada (botella 1000 ml) (Venta en supermercados, gasolineras, droguerías...)	3
Detergentes para ultrasonidos (botella de 1000ml) <a href="http://www.soltec.it/d1/es/detergentes-disinfectantes-ultrasonidos">http://www.soltec.it/d1/es/detergentes-disinfectantes-ultrasonidos</a>	20
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>2090 €</b>

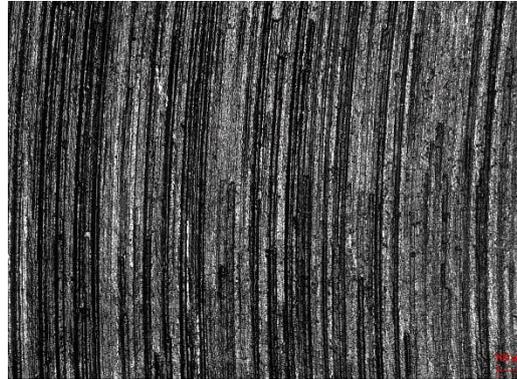
Se trata de un presupuesto aproximado dónde elegimos el agitador RZR-1 ya que con él nos aseguraríamos el buen funcionamiento de la agitación del fluido gracias a su par motor. Por otra parte, se trata de un presupuesto inicial, ya que con el tiempo los productos químicos como los ácidos, los alcoholes, los detergentes, papel de filtro... se agotarán y se deberá de comprar más.

## 17. IMÁGENES MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPIO

### 17.1. DEFECTO PAVONADO (BURBUJA DE AIRE)



*Ilustración 19. Foto defecto pavonado*



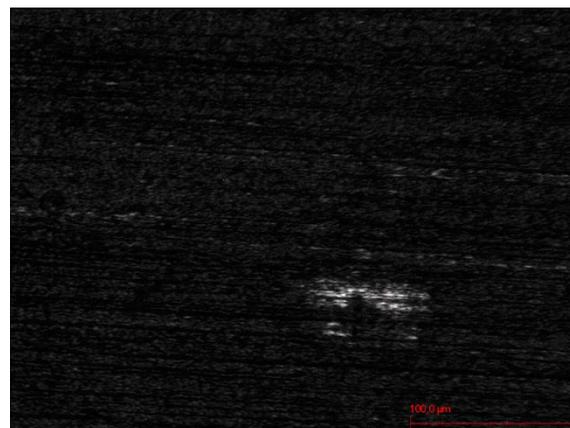
*Ilustración 18. Imagen con microscopio estereoscopio*

En la ilustración 19 se observa zonas mal pavonadas en forma de burbuja y la ilustración 18 tenemos una foto de la misma pieza hecha con un microscopio estereoscopio dónde se puede observar zonas más blanquizas, éstas son las zonas donde no está bien pavonado.

### 17.2. DEFECTO PAVONADO (ZONA SIN PAVONAR)



*Ilustración 21. Foto defecto pavonado*



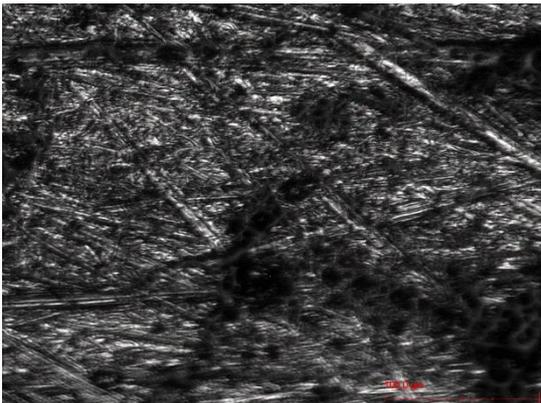
*Ilustración 20. Imagen con microscopio estereoscopio.*

En la imagen de la izquierda tenemos la misma pieza bien y mal pavonada y la imagen de la derecha se trata de una foto hecha a la zona mal pavonada con el microscopio estereoscopio.

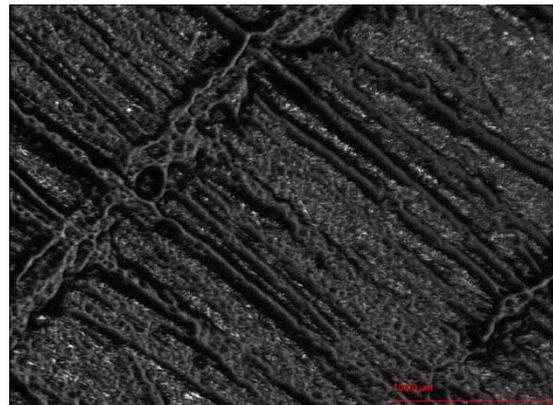
### 17.3. PIEZA PAVONADA Y SIN PAVONAR.



*Ilustración 22. Misma pieza pavonada y sin pavonar.*



*Ilustración 24. Imagen con microscopio estereoscopio de la pieza sin pavonar.*



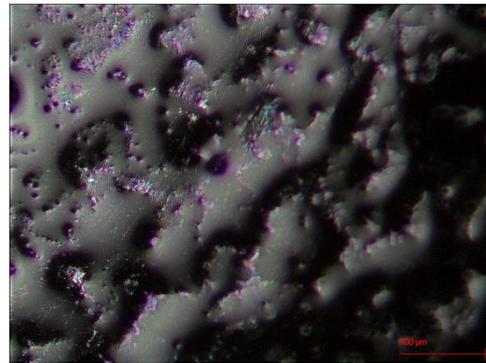
*Ilustración 23. Imagen con microscopio estereoscopio de la pieza pavonada.*

Aquí tenemos una imagen con la misma pieza recién pavonada donde aún quedan restos del aceite hidrófobo y sin pavonar. Por otra parte tenemos dos fotografías hechas con el microscopio estereoscopio, la ilustración 24 es la pieza sin pavonar mientras que la ilustración 23 se trata de la pieza pavonada, como se puede observar en la fotografía de la derecha la pieza está perfectamente pavonada.

#### 17.4. PIEZA PAVONADA.



*Ilustración 25. Foto pieza bien pavonada.*



*Ilustración 26. Imagen microscopio estereoscopio.*

En las dos imágenes anteriores se puede observar una pieza dentada perfectamente pavonada con su respectiva fotografía hecha con el microscopio estereoscopio.

## 18. CONCLUSIONES

### 18.1. IMÁGENES ANTES Y DESPUÉS

En las siguientes imágenes podemos concluir la eficacia de las medidas correctoras utilizadas durante la estancia de prácticas en la empresa de FORARIA, en las imágenes se muestra un antes y un después.

Se puede decir que antes obtenían un pavonado muy pobre lo cual causaba que no pudiesen comercializar las piezas pavonas y después de la realización de las prácticas esto ha sido posible. Se obtienen piezas con un pavonado de calidad y estable con el tiempo que era el principal objetivo de la empresa.

En las imágenes que vienen a continuación se puede ver el resultado de la calidad del pavonado antes y después de la realización de las prácticas.



*Ilustración 28. Tornillos sin pavonar, mal pavonado y perfectamente pavonado.*



*Ilustración 27. Piezas rectificadas sin pavonar, mal pavonadas y perfectamente pavonada.*



*Il·lustració 29. Peça hexagonal perfectament pavonada.*



*Il·lustració 30. Distintes peces sin pavonar y pavonadas.*



*Il·lustració 30. Peces bien pavonadas.*



*Il·lustració 32. Peces pavonadas a la vez.*

## 19. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Electrodeposición de metales: fundamentos, operaciones e instalaciones.*
- [2] *Instrumental methods in electrochemistry.*
- [3] *Industrial electrochemistry.*
- [4] *Introducción a la ingeniería electroquímica.*
- [5] *ASM handbook. Volume 13A, Corrosion: fundamentals, testing and protection.*
- [6] *Control de la corrosión: Estudio y medida por técnicas electroquímicas.*
- [7] <http://es.wikipedia.org/wiki/Pavonado>
- [8] [http://www.wohrquimica.com.ar/ver\\_producto.php?id=54](http://www.wohrquimica.com.ar/ver_producto.php?id=54)
- [9] <http://www.tierratech.com/ES/cp28/Sets-de-ultrasonidos-generador+-emisor/3>
- [10] <http://www.tierratech.com/files/productos/SETS%20DE%20ULTRASONIDOS.pdf>
- [11] <http://www.tierratech.com/files/productos/PROCESOS%20DE%20MONTAJE.pdf>
- [12] [http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo\\_imagenes/grupo.cmd?path=1024048](http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1024048)
- [13] <http://www.directindustry.es/cat/tratamiento-superficie/limpieza-por-ultrasonido-generadores-transductores-AO-989.html>
- [14] <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/generador-ultrasonido-76688.html>
- [15] <http://www.surfat.es/ultrasonidos/>
- [16] <http://www.letslab.es/>