

UNIVERSIDAD DE MATANZAS
“CAMILO CIENFUEGOS”



FACULTAD DE INGENIERIAS
CENTRO DE ESTUDIO DE ANTICORROSIVOS Y TENSOACTIVOS (CEAT)

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Propuesta de mejoras del proceso tecnológico de disolución de fosfatado
DISTIN 504 en la Planta Piloto de la Universidad de Matanzas.

AUTOR: Rodney García Elías.
Diplomante.

TUTOR: Ing. Yoandy Figueredo Hernández.
Profesor Asistente

Matanzas, 2013

Pensamiento

El pueblo más feliz es aquel que tiene educado a sus hijos en la instrucción de los pensamientos y en la dirección de los sentimientos.

“José Martí”.

Declaración de Autoridad

Declaro que soy el único autor de este Trabajo de Diploma, y que autorizo a la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” y al Centro de Estudios Anticorrosivos y Tensoactivos, a hacer uso del mismo con los fines que estimen convenientes.

Rodney García Elías

Nota de aceptación .

_____ **Presidente del Tribunal.**

_____ **Miembro del Tribunal.**

_____ **Miembro del Tribunal.**

Dado en Matanzas, el día ____ del mes de _____ del año 2013.
“Año del 55 de la Revolución”

Agradecimientos

Mis agradecimientos a:

- Mis padres y familiares cercanos, por brindarme su apoyo incondicional y darme alientos en los momentos más difíciles.
- Los profesores de la carrera de Ingeniería Química por la formación que me han dado.
- Los profesores y trabajadores del CEAT por apoyarme en la realización de este trabajo.
- Los profesores Santiago y Orosco por las enseñanzas prestadas y sus útiles consejos.
- Mi tutor por haberme guiado y apoyado incondicionalmente en la realización de esta tesis.

Resumen

Esta tesis abarca el estudio del proceso tecnológico de producción de la disolución de fosfatado (DISTIN 504) de la Planta Piloto del Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT), con el propósito de proponer mejoras. A partir de los problemas que posee la Planta Piloto, y empleando herramientas ingenieriles, se incide en los parámetros de trabajo del proceso, en los operacionales, y en los costos, implicando las mejoras que se proponen, que incluyen la adaptación del agitador mecánico y diseño de nuevos equipos para el proceso, para los cuales se hace un análisis económico para determinar su factibilidad, se concluye que la propuesta tiene ventajas técnicas y económicas, reflejadas en una disminución del tiempo del proceso, un aumento de la calidad, y un incremento del volumen de producción, y ganancia, que permite la recuperación de la inversión en 5.5 años; con un Valor actual neto (VAN) de 65939,7 y una Tasa de interna de retorno (TIR) del 12.5 %, pudiéndose afirmar que es factible económicamente estas mejoras teniendo en cuenta los tiempos actuales de mercado.

Summary

This thesis embraces the study of the technological process of production of the phosphate breakup (DISTIN 504) in the Plant Pilot of the Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT), with the purpose of proposing improvements. Starting from the problems that it possesses the Plant Pilot, and using engineering tools, it is impacted in the parameters of work of the process, in the operational ones, and in the costs, implying the improvements that intend that include the mechanical agitator's adaptation and design of news machines for the process, for which an economic analysis is made to determine its feasibility, that concludes that the proposal has technical and economic advantages, reflected in a decrease of the time of the process, an increase of the quality, and an increment of the production volume, and the gain that it allows the recovery of the investment in 5.5 years; with a net current Value (VAN) of 65939,7 and a Rate of internal of return (TIR) of 12.5%; being able to affirm that it's feasible economically these improvements keeping in mind the current times of market.

Índice	página
Introducción	3
Capítulo 1 Análisis bibliográfico.....	5
1.1. Generalidades de disoluciones de fosfatado.	5
1.2. Protección de superficies metálicas mediante recubrimientos.....	6
1.3. La fosfatación del hierro y sus aleaciones.....	7
1.4. Mecanismo de la fosfatación.....	13
1.5. Los acelerantes en la fosfatación.....	14
1.6. Factores que influyen sobre la formación del recubrimiento de fosfato.....	16
1.7. Influencia de la concentración y composición de la disolución.	17
1.8. Influencia de la temperatura.	19
1.9. Métodos de síntesis.....	20
1.10. Parámetros de calidad	21
1.11. Desarrollo de las disoluciones de fosfatado en Cuba	21
1.12. Desarrollo de las disoluciones internacionalmente	24
1.13. Posibles propuestas de mejoras en el proceso de producción.	25
Capítulo 2. Materiales y métodos.....	27
2.1. La agitación establecida y su efectividad.....	27
2.2. Mejoras al sistema de producción.....	27
2.2.1. Metodología para la selección y cálculo del agitador.....	27
2.3. Muestreo en el control de la calidad.	30
2.4. Instalación de bomba y accesorio para el ácido.....	31
2.2. Proceso tecnológico de Disolución de fosfatado.	34
2.3. Diagrama del proceso de Disolución de fosfatado.	35
2.4. Cálculo de la ganancia en la próxima etapa de producción.	36
2.5. Caracterización tecnológica del proceso de disolución de fosfatado.....	36
Capítulo 3 Análisis de los resultados.....	39
3.1. Estimación del precio del agitador	39
3.2. Estimación del precio de la bomba y tanque de ácido.	40
3.3. Estimación de la inversión.....	41
3.4. Diseño del agitador.....	42
3.5. Diagrama de flujo de la próxima etapa productiva.	43

3.6. Otras mejoras del tipo operacional.	44
3.7. Análisis Económico.....	44
3.8. Análisis técnico - económico.....	45
Conclusiones.....	48
Recomendaciones.....	49
Bibliografía	50
Anexos	53

Introducción

La producción de disolución de fosfatado DISTIN 504, es objeto de estudio por la facilidad y garantía que ofrece en la preparación de superficies que van a ser conservadas, por lograr la sustitución de importaciones y poder alcanzar con su desarrollo la creación de fondos exportables.

Este producto tiene demanda creciente, atendiendo al desarrollo de Sistemas de Protección Anticorrosiva y de Conservación (SIPAYC), que utiliza las disoluciones de fosfatado como un producto fundamental. Ejemplo de ello tenemos: el Procedimiento DUCAR para el transporte, los SIPAYC para las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida, Centrales Termoeléctricas, Redes de Distribución, entre otros que se desarrollan en Cuba.

La tecnología instalada presenta insuficiencias, que requieren de inversiones, modificaciones y mejoras en el mantenimiento. La demanda de este producto, ha generado proyectos y contratos que garantizan el financiamiento con este propósito, entre los cuales se encuentran el Contrato y Proyecto con la UNE que aprueba un monto de 2 millones de CUP y 1 millón de CUC con el objetivo de garantizar la producción de anticorrosivos y la aplicación de los SIPAYC en la UNE.

Existe por tanto la necesidad de mejorar el proceso de producción de disolución de fosfatado DISTIN 504, para satisfacer la demanda existente.

Problema: ¿Cómo mejorar el proceso tecnológico de obtención de disolución de fosfatado DISTIN 504 en la planta piloto?

Hipótesis: Si se realiza una correcta evaluación en factores que afectan el proceso tecnológico de obtención de la disolución de fosfatado DISTIN 504 en la planta piloto, se podrán proponer medidas para su perfeccionamiento.

Objetivo general:

Evaluar los factores determinantes que afectan la obtención de la disolución de fosfatado DISTIN 504 en la planta piloto y proponer medidas para su perfeccionamiento.

Objetivos Específicos:

- 1) Actualizar el estado del arte en el proceso tecnológico de producción de disolución de fosfatado DISTIN 504.
- 2) Evaluar el proceso tecnológico de disolución de fosfatado DISTIN 504 en la situación actual en la Planta Piloto, mediante la gestión de procesos, así como su análisis económico en esas condiciones.
- 3) Proponer las modificaciones necesarias para el proceso tecnológico de disolución de fosfatado DISTIN 504 en la planta piloto.
- 4) Fundamentar técnica y económicamente la propuesta de mejora del proceso tecnológico de disolución de fosfatado DISTIN 504 en la planta piloto.

Capitulo1 Análisis bibliográfico

1.1. Generalidades de disoluciones de fosfatado.

Las disoluciones de fosfatado son conocidas desde hace varias décadas, siendo su empleo recomendado para la preparación previa de la superficie antes de la aplicación de recubrimientos de pintura, recubrimientos metálicos, en algunos procesos industriales, en las producciones mecánicas y en otras aplicaciones. En ella se distingue la llamada “fosfatación no formadora de capa”, o sea el empleo de soluciones ortofosfato alcalino y/o amónico para crear capas de fosfatado de hierro en las que el ión de hierro procede de la superficie metálica por recubrir, y la llamada “fosfatación formadora de capas”, con la que se forman sobre la superficie metálica, con empleo de soluciones de zinc y fosfato de calcio, capas de fosfato de zinc o respectivamente de fosfato de zinc y fosfato de calcio, siendo esta última la más utilizada en el servicio de conservación del transporte. (Zulueta, 2003)

Las disoluciones de fosfatado decapantes y no decapantes para la preparación de superficies de diferentes metales, proporciona una limpieza a fondo de la superficie, penetran en los intersticios, convierten el óxido y forma una capa protectora y resistente a deformaciones y a la acción agresiva de la atmósfera. Se formulan especialmente para tratar superficies antes de la aplicación de recubrimientos de pintura y para piezas pequeñas y de difícil tratamiento como alambres, perfiles, laminados, equipos. Aplicadas sobre pinturas no la deterioran y sin embargo, eliminan las manchas de óxido y penetran por las grietas y picaduras hasta la superficie metálica, eliminando el óxido y formando una capa protectora (Zulueta, 2003).

Una de las características más importantes de estos productos, es que proporcionan una protección adicional con una base adherente y protectora temporal que permite aplicar los recubrimientos cuando las condiciones sean propicias, sin necesidad de repetir la operación de limpieza. Esta propiedad es muy apreciada en la industria mecánica cuando se realizan operaciones de limpieza y posteriormente se aplican recubrimientos de pintura o en las

operaciones de chapistería, donde no es aconsejable pintar inmediatamente, entre otras operaciones (Blundhuber, 1993).

No obstante lo planteado por estos autores, no siempre se aplica este procedimiento. Unas veces se debe a la falta de cultura sobre estos productos y otras a su disponibilidad. En Cuba ya se logra la aplicación de disoluciones de fosfatado a partir de las producciones de la marca DISTIN, que actualmente es muy demandada.

1.2. Protección de superficies metálicas mediante recubrimientos.

Teniendo en cuenta las características climáticas de Cuba y la alta agresividad corrosiva que se presenta, se hace necesario aplicar productos anticorrosivos que incrementen la vida útil de los materiales con el menor costo posible.

Los métodos de protección contra la corrosión son muy variados y la selección de uno de ellos depende de diferentes factores como son: el medio corrosivo, tipo de aleación, condiciones de trabajo, etc. Debe considerarse como factor primordial la efectividad económica del método, es decir la mejor conservación del metal con el mínimo de gastos posibles.

Uno de los procedimientos de lucha contra la corrosión es la utilización de tratamientos protectores mediante recubrimientos capaces de impedir el deterioro de las piezas, siendo éste el método más utilizado debido a la gran variedad de posibilidades que encierra. En principio permite aislar el metal base del medio corrosivo. Pueden clasificarse en: orgánicos (pinturas, lacas, barnices, plásticos, etc) e inorgánicos, que a su vez se subdivide en metálicos y no metálicos. Forman parte de este último grupo los tratamientos químicos y electroquímicos que no forman películas metálicas y que comúnmente se denominan recubrimientos por "conversión química" (fosfatado, anodizado, oxidación química) (Zulueta, 2003).

De los métodos de protección mediante recubrimientos los más económicos son los obtenidos por conversión química y los orgánicos en sus diferentes variantes, los cuales utilizados conjuntamente ofrecen la ventaja de reunir una protección casi inmejorable en cuanto a resultados y economías, al proveer a la

superficie del metal dado de una capa protectora contra la corrosión y mejorar mucho la adherencia, representando ambos un sistema magnífico de protección anticorrosiva (Blundhuber, 1993).

1.3. La fosfatación del hierro y sus aleaciones.

La formación de películas fosfáticas consiste en tratar las piezas con una disolución compuesta por ácido fosfórico y algunas de sus sales, de la que precipita una fina película cristalina compuesta por fosfatos metálicos que quedan perfectamente adheridos al metal base y posee un elevado poder protector, el cual puede ser incrementado mediante tratamientos complementarios.

-En el curso del proceso se verifican, a grandes rasgos, las siguientes reacciones: (Casteló, 1962).

1. Disolución del metal.
2. El metal disuelto se combina con uno o más de los componentes de la solución.
3. Cristalización sobre la superficie del metal de una película de fosfato, la cual se produce al sobrepasarse el producto de solubilidad de aquellos en la fina película líquida en contacto con el metal. La disolución de éste produce un desequilibrio en la acidez, en este caso una elevación del pH.

En los últimos tiempos los procesos de fosfatación sobre piezas metálicas férreas han despertado un evidente interés. Ejemplo de ello son los trabajos que sobre la fosfatación han realizado los autores (Acguarine, 1983; Bender; et al, 1980; Burgaroles, 1988; Wittel, 1984).

El acero es, con mucha diferencia, el material base más importante para la fosfatación y pintado final, por ello no es sorprendente que la mayoría de las experiencias se hayan realizado con este material y existen también muchos procesos que consiguen capas de fosfato de zinc de buena calidad sobre el

acero. Se realiza por contacto de las piezas (de hierro, acero, aluminio, etc) desengrasadas, en una solución de fosfatos ácidos de zinc, hierro o manganeso.

En el curso del proceso la superficie de las piezas se recubre de una película de fosfatos de los metales citados, que posee elevada resistencia intrínseca a la corrosión y ofrece una base adherente para las pinturas, aceites y grasas prácticamente inigualable.

La película cristalina formada está perfectamente anclada en el metal base, lo que impide su desconchamiento posterior.

Además de las aplicaciones que la fosfatación posee en el terreno anticorrosivo, debido a la naturaleza y composición de la película formada, tiene asimismo un gran campo de aplicaciones mecánicas, lo que hace de este tratamiento uno de los más adecuados para mejorar las condiciones de obtención de estampados profundos, estirado, trefilado, etc. La fosfatación se emplea también extensamente para facilitar el engrase de engranajes, ejes y demás piezas mecánicas que operan a presiones elevadas (Casteló, 1962).

Coslett, (1906; 1908; 1925) realizó una serie de patentes en las que describió un proceso de fosfatación de metales ferrosos que consistía en sumergir las piezas de hierro o acero en una disolución casi hirviente de ácido fosfórico. Para reducir la acidez libre y la violenta reacción inicial que se producía al ser atacado el metal por el ácido, sugirió la adición de pedazos de hierro. Además indicó que es conveniente mantener una acidez libre tan baja como sea posible, que el valor protector de la película dependía de la relación acidez total/acidez libre (AT/AL), que la película formada debe ser aceitada o tratada de forma adecuada para aumentar su resistencia a la corrosión, que la corriente eléctrica puede acelerar la reacción y que ciertos agentes de adición pueden ser utilizados para reducir el tiempo de fosfatado. Su trabajo es la base de la fosfatación que hoy en día se conoce.

Coslett, (1909) señaló que mediante el empleo de una disolución fosfatante a base de fosfato de zinc, se obtenía una mejor adherencia del depósito protector y una mayor uniformidad del recubrimiento.

Los baños de zinc acelerados con nitratos son los más utilizados comercialmente en el campo de la protección contra la corrosión y de la deformación en frío (Casteló, 1962; Wittel, 1984).

Los baños de fosfatos a base de zinc suelen prepararse a partir de los tres componentes básicos siguientes: ácido fosfórico, óxido de zinc o carbonato de zinc (generalmente el primero debido a su costo inferior) y ácido nítrico. Casteló, (1962) refiere que generalmente en estos baños el zinc se encuentra entre 6-20 % y el ion fosfato entre un 25 - 50 %; otros autores Acguarine, (1983);López Planes, (1986);Sathynandom, et.al.,(1971);Wittel,(1984) no reportan criterios de concentraciones de los componentes en los baños refiriendo que ello está en dependencia de la experiencia y del tipo de recubrimiento que se desee obtener.

Numerosos autores hacen referencia a estos tipos de baños, obtenidos a partir de dichos componentes (Casteló, 1962;Da Costa, 1989;Gruyes, 1971;Lainer, 1979;Sathynandom, et.al., 1971). Ejemplo de ello son las siguientes formulaciones:

1)- PO_4^{3-}	_____	35 g/L
Zn	_____	19 g/L
NO_3^-	_____	26 g/L
Temperatura	_____	95 °C
Tiempo	_____	5-15 min

2)- PO_4H_3	_____	27 - 29 g/L
ZnO	_____	23 - 25 g/L
HNO_3	_____	30 - 35 g/L
NaClO	_____	0,3 - 0,5 g/L
$NaNO_2$	_____	1 - 1,2 g/L
PH	_____	2,4 - 2,7
Temperatura..	_____	20 - 39 °C
Tiempo	_____	20 min

3)- H_3PO_4	_____	80 - 85 g/L
ZnO	_____	15 - 17 g/L
$NaNO_2$	_____	1 - 2 g/L
Temperatura	_____	20 - 40 °C

Tiempo _____ 15-20 min
PH _____ - 2,7 - 3,1

Otras formulaciones de baños de fosfatar se reportan en (Blundhuber, 1993; Gehineiber, 1994; Sathynandom, et al, 1971; Toan, 1992) a las que se les agrega además de los componentes básicos, otros que tienen como finalidad disminuir notablemente los tiempos de inmersión. Ejemplo de ello lo tenemos:

PO_4^{3-} _____ 10-50 g/L
 Zn^{2+} _____ 0,5 - 1 g/L
 Ca^{2+} _____ 0,5 - 1,5 g/L

Acelerantes que se pueden añadir uno o varios de ellos:

NO_3^- _____ 0,5 - 30 g/L
 NO_2^- _____ 0,01 - 0,6 g/L
 ClO_3^- _____ 0,2- 10 g/L
 H_2O_2 _____ 0,01 - 0.5 g/L
Compuesto nitroso orgánico _____ 0,1-2g/L
Temperatura _____ 30 - 65 °C
Tiempo _____ 1-20 seg

Este baño aumenta la adherencia de lacas, mejoran las propiedades de chapas metálicas en conformación en frío y en la aplicación de procedimientos de embutición profunda.

Entre las propiedades de estos recubrimientos a base de fosfatos de zinc se encuentran (Sathynandom, et.al., 1971): velocidad de deposición, buen cubrimiento de la superficie y capacidad para recubrir cualquier tipo de acero.

Durante la interacción del hierro con el ácido fosfórico se forman una mezcla de sales de una, dos o tres sustituciones y se desprende hidrógeno como se verá más adelante.

El espesor de la película de fosfato depende del método de obtención, de la composición del metal tratado y del baño, del método de preparación de la superficie de la pieza, de la temperatura y de la duración del tratamiento (Casteló,1962).

El espesor está comprendido entre los siguientes valores:

En frío _____ hasta 6 mieras

En caliente _____ 8-15 mieras y a veces mayor

El espesor óptimo para bases de pinturas y grasas es de 1 - 5 mieras (Casteló, 1962; Lorin, 1974; Manual técnico Hempel; Sathynandom, et. Al., 1971).

Las dimensiones de los artículos en el proceso de fosfatado cambian poco, porque con el aumento del espesor de la capa de fosfato ocurre la disminución de la del metal por decapado ácido.

Las piezas que entran corrientemente al taller de fosfatación suelen estar acompañadas de una película de óxido y además suelen estar cubiertas de una película más o menos gruesa de grasa o aceite que se aplican como preventivos contra la corrosión o quedan sobre las piezas en su mecanización y manejo. Por eso, para la obtención de un buen recubrimiento fosfático es necesario que la superficie del metal a tratar esté perfectamente desengrasada y exenta de óxidos o calamina, razón por la cual en la práctica siempre se debe recurrir a un desengrase y/o decapado preparatorio a la operación de fosfatado (Casteló, 1962; Lorin, 1974).

Existen disoluciones decapantes fosfatantes que cumplen al mismo tiempo la función decapante y pasivante; tales disoluciones se aplican a brocha, por inmersión o pulverización sobre las superficies de hierro y acero oxidadas, o sea, recubiertas de una película de óxido adherente y no excesivamente gruesa, a la que transforma en una película adherente de fosfatos metálicos, y una vez seca se puede pintar o aceitar, obteniéndose una buena protección contra la corrosión.

El tiempo de secado está en dependencia de la humedad relativa y suele oscilar entre 12 y 24 horas (Casteló, 1962). Debe tenerse en cuenta que con estas disoluciones no pueden tratarse los metales cubiertos de calamina, pues ésta sólo reacciona superficialmente quedando el grupo de la misma sin transformar.

No es recomendable el secado mediante la aplicación de calor, pues la reacción será incompleta.

Para aumentar las propiedades protectoras las piezas fosfatadas se someten a un tratamiento adicional, en dependencia del campo de su utilización. Para incrementar la resistencia de los aceros a la corrosión se tratan con disolución de

dicromato de sodio o potasio al 5 - 10 % a temperatura comprendida entre 70 - 80 °C durante 5-15 min, lo cual reduce la porosidad del recubrimiento (Casteló, 1962; Lorin, 1974).

Finalmente se pasa a la operación de secado, la cual debe realizarse a unos 110 - 120 °C cuando el fosfatado vaya a utilizarse para efectos anticorrosivos (Casteló, 1962; Lorin, 1974) siguiendo la operación de pintado, teñido y/o aceitado, de acuerdo con los fines a que vayan a dedicarse las piezas y con las tolerancias mecánicas de los mismos.

Las piezas fosfatadas no deben ser expuestas al aire por más de dos o tres días, antes de aceitarlas o pintarlas. (Casteló, 1962).

En los últimos años según Wittel, (1984) los cambios en el contexto técnico y en el conocimiento, caracterizado por las palabras claves: energía, medio ambiente y calidad, han inducido a evoluciones y modificaciones sustanciales en los procesos de fosfatación de zinc, en su calidad de procesos bien acreditados de tratamiento previo al pintado.

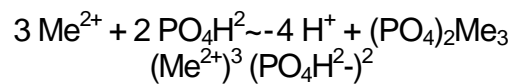
Se ahorra energía mediante el empleo de temperaturas inferiores en los baños de tratamiento como el que se ha impuesto en algunos países. Las formulaciones que pueden operar satisfactoriamente a temperatura ambiente (20 - 35 °C) fueron primeramente desarrolladas en Europa en 1941 (Sathynandom, et. al., 1971).

Las disoluciones fosfatantes en frío apenas atacan al hierro y a los aceros al carbono, razón por la que las cubas pueden ser de hierro o acero común y de menor espesor que los utilizados para los baños en caliente.

Debido a la mayor estabilidad de las disoluciones empleadas, los recubrimientos obtenidos son más uniformes en espesor y en estructura. Sus limitaciones se deben a que, debido a las propiedades atacantes ligeras del baño, no se puede usar para recubrimientos de aceros aleados y se requiere además un control más riguroso del pH.

Las disoluciones en frío se pueden usar para la fosfatación por inmersión, por rociado o para la fosfatación electroquímica y los recubrimientos de igual espesor tienen las mismas propiedades que aquellos que han sido obtenidos por el recubrimiento en caliente.

El principio de la fosfatación en frío según Sathynandom et.al., (1971) se basa en el hecho de que la constante de equilibrio de la reacción:

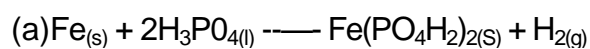


Y depende, en gran medida, de la concentración del ion hidrógeno y en menor cuantía del ion metálico y de la concentración del ion PO_4H^{2-} . Por tanto, variando la concentración del ion metálico y ajustando convenientemente el pH es posible obtener recubrimientos fosfáticos sobre una superficie, a temperatura ambiente.

1.4. Mecanismo de la fosfatación

Debido a que no existe una teoría universalmente aceptada sobre la formación de las películas fosfáticas, (Rusinyol, 1999) se hará referencia a la descripción de las que más frecuentemente se encuentran en la literatura técnica de este campo del conocimiento.

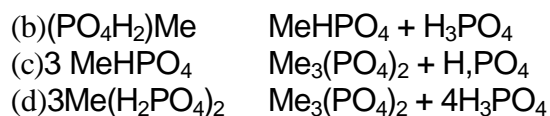
Los autores Casteló, (1962); Feliú, et.al.,(1984); Gruyes, (1971);Lainer, (1979);Lorin, (1974);Sathynandom, et.al., (1971) coinciden en que, como todos los baños de fosfatado contienen cierta cantidad de ácido fosfórico libre, a la temperatura de trabajo del baño reacciona con la superficie del metal de acuerdo a la siguiente ecuación:



Dando origen a la formación de fosfato de hierro primario (soluble en el baño), al desprendimiento de hidrógeno y a la neutralización de parte del ácido fosfórico libre existente en la interface líquido - metal.

Como puede verse, en este primer paso el ácido fosfórico se comporta de forma análoga a como la haría cualquier ácido en un baño de decapar, actuando únicamente como disolvente del metal. Cuando prosigue la reacción hay un incremento del pH en los cátodos locales y los fosfatos primarios del hierro, zinc

o manganeso en la disolución se disocian (hidrolizan) en fosfatos secundarios y terciarios insolubles, que se depositan sobre la superficie del metal según las siguientes ecuaciones, en las que Me representa un metal divalente.



De la reacción (a) se puede ver que la formación del recubrimiento no puede producirse a menos que haya ácido libre en el baño, y ésta produce la iniciación de las reacciones (b), (c) y (d), en las que se produce ácido fosfórico, el cual a su vez reacciona rápidamente con la superficie del metal, según la ecuación (a). El equilibrio de estas tres últimas ecuaciones se desplaza hacia la derecha al consumirse el ácido fosfórico en el ataque y los fosfatos neutros insolubles precipitan sobre la superficie del metal una vez sobrepasado su producto de solubilidad en la película interfacial. De ahí que, si hay demasiado ácido libre, la hidrólisis del fosfato primario en fosfato secundario y terciario puede dejar de producirse, sólo se producirá decapado sobre la superficie del metal y en un baño con muy poca acidez libre, el metal no sería suficiente atacado para que produzca la formación del recubrimiento. Hay también la posibilidad de precipitación de los fosfatos insolubles fuera de la superficie del metal (formación de barras).

En la fosfatación, la naturaleza y extensión de formación del recubrimiento son controladas por las reacciones anódica y catódica de las celdas locales.

1.5. Los acelerantes en la fosfatación

Un descubrimiento de gran importancia en el campo de los tratamientos fosfáticos fue el de los acelerantes, por medio de los cuales resultó posible disminuir los tiempos de tratamiento de 30-60 min a 1 - 5 min. En dependencia de ello los baños de fosfatado pueden dividirse, a grandes rasgos, en baños acelerados y baños no acelerados que pueden operar a temperatura ambiente o a temperaturas elevadas (Casteló, 1962; Gruyes, 1971; Lorin, 1974).

En los baños no acelerados el tiempo de tratamiento es considerablemente más de los (30- 60 min) y por tanto, no es posible mantener constante la composición del recubrimiento. Además estos baños suelen tener una vida limitada, no siendo por tanto aplicables a grandes producciones. Los baños acelerados han solventado estas dificultades y ocupan hoy un lugar preferente en la industria de la fosfatación.

Se ha planteado anteriormente que como los baños de fosfatación se mantienen siempre más o menos ácidos, hay disolución del hierro y la composición se modifica progresivamente, variando a la vez la composición del precipitado y su valor protector.

Los autores Casteló, (1962); Fritz, (1959);Lorin, (1974);Sathynandom, et. al., (1971) plantean que la adición de acelerantes además de reducir el tiempo del tratamiento considerablemente, disminuye el contenido de hierro del baño por oxidación del fosfato férrico que va a parar al sedimento. Así, la acumulación de hierro en la disolución, que reducirá la resistencia a la corrosión del recubrimiento, se evita en gran medida en el baño acelerado. En calidad de aceleradores se utilizan sustancias oxidantes tales como: nitratos, nitritos, cloratos, etc.

El empleo con acelerantes de compuestos químicos de carácter oxidante son los que han alcanzado en la práctica mayor campo de aplicación.

Aunque en la literatura técnica se han sugerido numerosos tipos de compuestos para utilizarlos como acelerantes, la mayor parte de las soluciones de fosfato utilizan nitrato y nitrito o sólo nitrito en concentraciones apropiadas. Por esta razón ambos fueron incluidos al estudiar posteriormente la influencia de los acelerantes en el baño. Estos compuestos pueden emplearse correctamente en los baños de fosfatación a base de zinc.

Los nitratos son los acelerantes usados en mayor escala en las disoluciones fosfatantes, pudiéndose emplear ya sea sólo para la obtención de películas fosfáticas de pesos elevados o bien en la unión de los nitritos para la obtención de recubrimientos de peso medio y ligero (75-15 mg/dm²). La concentración en nitratos suele estar comprendida entre 1 y 2,5 %.

Al contrario de los nitratos, los nitritos no entran a formar parte de los componentes básicos de las disoluciones fosfatantes sino que se emplean más bien como agentes de adición a los baños que contienen nitratos; el ion nitrato aparece en el baño desde el primer momento, desempeñando un papel muy importante en la fosfatación acelerada.

Sathynandom, et .al., (1971); Casteló, (1962) coinciden en que la adición de aniones nitrato y nitrito producen recubrimientos delgados, uniformes y finos y que existe un valor máximo de capa para una concentración de anión nitrito de 1,5 g/L. En general parece que los nitratos incrementan el tamaño del grano de la película, mientras que los nitritos favorecen la formación de películas de menor espesor y de granos más finos.

Numerosos autores como Casteló, (1962);Lorin, (1974);Sathynandom; et. al., (1971) plantean la complejidad de las reacciones que ocurren en los baños que contienen estos compuestos aceleradores. Sin embargo la mayoría coincide en que los baños acelerados con nitratos y nitritos, están presentes en la disolución, bien por adición de nitrito de sodio o derivada de su reducción.

Los productos de la reducción del nitrato tienen una acción depolarizante más intensa que la del propio ion nitrato. En resumen el nitrito puede servir para: oxidar cualquier ión ferroso en la disolución, oxidar y pasivar el metal mediante la formación de una capa delgada de óxido sobre la superficie, para depolarizar la superficie del metal especialmente en zonas de alta densidad electrónica y para regenerar el nitrato como fue planteado.

1.6. Factores que influyen sobre la formación del recubrimiento de fosfato.

En las páginas precedentes se han descrito las características esenciales de las probables reacciones químicas involucradas en la formación inicial de la capa de fosfato sobre un metal, en particular el acero y fueron consideradas tres etapas esenciales del proceso de fosfatación (Lorin, 1974).

Todas las reacciones químicas implicadas son independientes y los pequeños desplazamientos del equilibrio permiten que ellas entren a jugar su papel al mismo tiempo.

Por otro lado se ha visto que existe una serie de factores que influyen notablemente en la formación y propiedades del recubrimiento fosfático, pudiendo decirse que la fosfatación no es, en sí, más que un procedimiento típico de cristalización con reacciones interfaciales y que por lo tanto, todos los factores que puedan influir en la reacción interfacial o sobre la velocidad de cristalización, pueden también tener influencia sobre el recubrimiento.

Los factores principales que regulan la formación de la película fosfática son los siguientes:

1. Composición del metal a tratar.
2. Características físicas del metal a tratar.
3. Preparación de la superficie.
4. Composición de la disolución fosfatante.
5. Concentración de la disolución fosfatante.
6. Temperatura de trabajo.

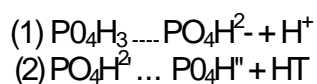
Debe señalarse que la influencia de estos factores es más pronunciada en las soluciones no aceleradas que en las aceleradas.

1.7. Influencia de la concentración y composición de la disolución.

La concentración a la que se encuentran los diversos componentes en el baño de fosfatación, tiene una influencia notable sobre la formación del recubrimiento lo cual queda reflejado en su diferente resistencia a la corrosión.

Una influencia muy notable ejerce también la relación acidez total/acidez libre (AT/AL), cuyo valor debe ser mantenido dentro de límites perfectamente definidos.

La distinción entre acidez libre y acidez total a que se hace referencia es consecuencia de la naturaleza triprótica del ácido fosfórico. El ácido fosfórico se disocia iónicamente de la siguiente forma:



La ecuación (1) se verifica en mucho mayor grado que la (2).

Lorin, (1974) refiere que una dilución excesiva de la disolución produce un aumento rápido del pH, lo cual acarrea la precipitación de los fosfatos insolubles y si, por el contrario, su concentración es excesiva, el pH no baja con la rapidez deseada y el tiempo de tratamiento, se prolonga demasiado.

La variación en la concentración y composición de la disolución afecta especialmente al espesor y tamaño cristalino de la película y, por consiguiente, al valor protector. En general, puede afirmarse dentro de ciertos límites que se obtendrán los mejores resultados operando a concentraciones y pH elevados, lo que facilita la formación de películas de espesor uniforme y estructura fina.

Para obtener un buen recubrimiento fosfático a temperatura ambiente es necesario regular exactamente el pH de la solución influyendo sobre él la temperatura de operación, la concentración y el tipo de fosfato metálico y de acelerante empleado.

Este mismo autor plantea que para una solución dada de fosfato de zinc acelerada con nitrito, el pH aumenta al disminuir la temperatura, teniendo el tipo de acelerante empleado, una notable importancia para el pH inicial.

Para que tenga lugar la precipitación del fosfato neutro a temperatura baja se requiere menor concentración de ácido libre, y que por lo tanto, el pH será más alto que al que opera a temperaturas altas.

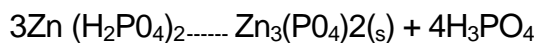
Casteló, (1962);Lorin, (1974) refieren que el pH más adecuado para operar un baño a base de zinc a temperatura ambiente deberá estar comprendido entre 2,5 - 2,7.

1.8. Influencia de la temperatura.

La temperatura de tratamiento tiene un efecto muy crítico sobre la formación de recubrimiento, razón por la cual muchos fabricantes recomiendan que se procure no variar en ± 2 °C de los valores prescriptos.

Según Casteló, (1962) la reducción de la temperatura acarrea un aumento del tiempo de tratamiento y una disminución del valor protector de la película. Este mismo autor plantea que los baños preparados para trabajar a temperaturas elevadas pueden producir recubrimientos fosfáticos a la temperatura ambiente, pero el tiempo de tratamiento se prolonga de forma tal y el recubrimiento obtenido es tan poroso, que se hace imposible su utilización, pero que mediante el empleo de acelerantes adecuados se pueden obtener en tiempos realmente cortos, recubrimientos fosfáticos de buena resistencia a la corrosión.

Según los autores Casteló, (1962); Lorin, (1974); Sathynandom, et. al., (1971) y otros plantean que la constante de equilibrio del sistema,



Tienen los siguientes valores a diferentes temperaturas estudiadas:

25°C.....	0.013
37 °C.....	0,029
98 °C	0,74

Esto indica que a mayor temperatura la formación de un recubrimiento se producirá incluso cuando el contenido en ácido libre sea alto y que a menor temperatura sólo se producirá cuando el contenido de ácido libre sea bajo.

Este factor juega un papel importante en la formulación de un fosfatado en frío.

1.9. Métodos de síntesis

El proceso comienza adicionando a cada reactor 1150 lts desde los tanques de agua, esto corresponde a un nivel de 600mm en los reactores.

El operador hará una inspección visual alrededor de los reactores para comprobar existen salideros, averías o derrames en los mismos.

El tercer paso del proceso es adicionar 234 lts de H_3PO_4 al 85 % de concentración a reactor. Durante esta operación y desde su inicio, se aplicará agitación neumática en los reactores.

Concluida la adición de H_3PO_4 y sin interrumpir la agitación neumática, se adición del ZnO. La misma se hará lentamente en dosificaciones de 5 Kg con de espera de 20 minutos entre dosificaciones, hasta alcanzar la cantidad total ZnO por reactor. La agitación neumática se mantendrá por 90 min. Si intervalo de tiempo se detectan sedimentos en el fondo del reactor por desde el registro de techo, se utilizará de forma paralela a la agitación neumática agitación manual con paleta de madera. Cuando se observe que todo el producto ha sido disuelto se detendrá la agitación neumática para proceder a la siguiente fase de producción.

Se añaden los Agentes Reductor 1E-431, e Inhibidor 1H-37 (aceleradores de fosfatación) y se mantendrá el reactor en reposo hasta que no se observe la emisión de gases.

Nuevamente se añadirá agua de proceso hasta completar un volumen total de 1500 lts en cada reactor. Esto corresponderá a un nivel de 760 mm en los reactores. Los reactores serán sometidos a 15 hrs. de reposo después de alcanzar el nivel de llenado.

Concluido el tiempo de reposo se someterán los reactores nuevamente a agitación neumática por espacio de 30 minutos.

Concluidos los 30 min de agitación se procederá a tomar muestras de 500 ml a tres niveles predeterminados en cada reactor (Tope, medio y fondo)

En el laboratorio se hará medición de acidez libre y total para cada muestra independiente. Si los resultados de los muestreos indican un valor dentro del

rango aceptado, se considerará que el producto en el reactor está listo para la Certificación de Calidad y el laboratorio continuará con el resto de los análisis correspondientes a dicha certificación, la cual será emitida por cada reactor de forma independiente.

1.10. Parámetros de calidad

Desde 2004 hasta la fecha, se han logrado producir varias toneladas de disolución de fosfatado con un considerable impacto económico y de generalización en diversas industrias, siendo la única planta en Cuba, que además ha logrado esos volúmenes de producción de dicha disolución.

Donde se emplean según la disolución las siguientes materias primas:

Ácido fosfórico, agua, óxido de zinc y algunos aceleradores (como el sulfato, nitratos y nitritos).

El control de calidad del producto final (DISTIN 504), incluye un ensayo de resistencia microbiológica y otro de protección anticorrosiva.

Otros ensayos:

- Ensayos físico – Químicos.
- Acidez libre y total.
- Densidad.

1.11. Desarrollo de las disoluciones de fosfatado en Cuba

Las Tecnologías de disoluciones de fosfatado implementadas en el proceso de producción de la Planta Piloto del CEAT, aunque no únicas en el mundo, están en proceso de patentes, por las ventajas que ofrece en cuanto al empleo de materias primas peligrosas y características del producto, por lo que constituyen productos nuevos, específicos para diferentes tecnologías de aplicación que se desarrollan además de conjunto, como las implementadas en la Empresa Mecánica de Villa

Clara (MINERVA), en Muebles LIDEX de Ciego de Ávida y Muebles SIGNO de Batabanó. Todo ello constituye un proceso innovativo tanto en su producción como en su aplicación.

Estos productos no los producen ninguna empresa del país, exceptuando el producto OXIDEN, que ha producido la Industria Química de Cienfuegos para consumo de la población y que no existe actualmente en el mercado.

Los productos de uso industrial que se han consumido con anterioridad en las empresas con las que se trabaja la comercialización de dicha disolución, se han importado, y por la situación económica de Cuba se ha provocado ante las limitaciones de acceder al mercado externo, consumir las producciones que realiza el CEAT, en una capacidad productiva existente que da respuesta a la demanda actual y perspectiva.

Como productos de producción nacional, con un 40% de materias primas nacionales, únicos que se producen en el país, pueden sustituir las importaciones, y se han realizado de similares para las producciones metálicas del SIME, Industria Ligera, entre otros.

El resultado que se generaliza posee beneficios económicos, fundamentalmente por la sustitución de importaciones, que se expresa de diferentes formas según los avales de que dispone el CEAT y que se resume a continuación.

El anticorrosivo que se suministró a la UNE (DISTIN 504), no sustituye a un único producto, ya que las empresas que ahora lo reciben, han adquirido diferentes productos importados similares y esta información, así como otros impactos económicos, no se posee avalada en estos momentos. No obstante hay ahorro de recursos al contribuir en los procedimientos en que se aplica, a la disminución del gasto material en materiales metálicos y pinturas que son de importación. Para dicha empresa la producción de 60000 litros del producto, con un financiamiento de 26400.00 CUC entregado y ha proporcionado ingreso por ventas de 169715.00 pesos.

En Muebles LIDEX, el producto DISTIN 502 suministrado desde el 2004, sustituyó importaciones de su similar Fosfación 29W, a un precio de 1.59 €/Kg. En ese

período de producción se produjeron valores del orden de los 32854540.00 Pesos.

En Muebles SIGNO, el producto DISTIN 502 suministrado desde el año 2010, sustituyó importaciones y sobre todo posibilitó producciones en valores del orden de los 11377120.00 Pesos.

En la Empresa Mecánica de Villa Clara MINERVA, el producto DISTIN 506, sustituyó al producto importado de China desde el mes de junio del 2012, al no disponer de financiamiento para adquirirlo. Ello representó dejar de comprar 645 Kg a un precio en el mercado de 6.00 USD/Kg, por lo que se ha ahorrado al país en divisas convertibles unos 3 870.00 USD. En este período la producción en valores alcanzada llega a la cifra de 1 963200.00 Pesos, de los cuales corresponde a la divisa 1156200.00 CUC.

En resumen la producción mercantil en valores con el producto que sustituye importaciones alcanza la cifra total de 46195000.00 pesos, desde que se comenzaron a aplicar los productos de fosfatado DISTIN en estas tres empresas.

En lo económico resulta significativo la asignación de financiamiento en Moneda Convertible (CL) por un monto de 120000.00 CL para la producción de Disolución de Fosfatado para las FAR, mediante un Contrato con TECNOIMPORT., lo que consta en carta del Director de Economía del MES. Al respecto, se asignó además 125363.20 CUC, que consta en carta del Director de Economía de la UMCC.

La asignación del financiamiento antes descrito por la producción con las FAR, posibilitará dar continuidad a la generalización en el 2013.

Con relación a los beneficios sociales, en las empresas productoras posibilitó dar continuidad a los procesos productivos, contribuyendo a la estabilidad del empleo y a la entrega de estímulos por el cumplimiento de los planes trazados.

1.12. Desarrollo de las disoluciones internacionalmente

De estudios realizados se han identificado las principales líneas en la producción de disolución de fosfatado decapante de acuerdo con el estado de la técnica. Al respecto de esta fórmula que tiene en su composición nitratos y fosfatos se destacan las siguientes patentes internacionales:

- La Patente No 6, 458, 219 de Estados Unidos, refiere sumergir un sustrato en una solución ácida acuosa de fosfato de cinc, usando una solución de nitrato de zinc acuosa como acelerador, la solución de nitrato de zinc acuosa, estando substancialmente libre del ion del calcio y conteniendo 0 a 6500 ppm de ión de sodio y 0 a 20 ppm de ión del sulfato.
- De estudios realizados en el CEAT, se destacan las patentes en proceso basadas en el empleo de Ácido ortofosfórico al 85% (H_3PO_4), Nitrato de sodio ($NaNO_3$), Nitrito de Sodio ($NaNO_2$), que son las disoluciones de fosfatado objeto de estudio en la presente investigación.

Otras patentes relacionadas con la de referencia son:

- La Patente No 7, 208, 053 de Estados Unidos, refiere que en el proceso de tratamiento de superficies metálicas se emplea una solución de fosfato ácida acuosa, que contiene 10 a 60 g/l de cinc, 0.5 a 40 g/l de manganeso, de 50 a 300 iones de fosfato en g/l y opcionalmente otros componentes.
- La Patente No 3, 939, 014 de Estados Unidos, refiere que el método de la cuerda continúa para procesar un alambre de acero de alto contenido de carbono en la deformación fría subsecuente, emplea una composición de fosfato de zinc cubriendo de forma rápida la superficie de acero para ayudar en la deformación subsecuente cubriendo la superficie del acero con una solución de la capa ácida acuosa que contiene fosfato, cinc y nitrato.
- La Patente No 5, 203, 930 de Estados Unidos, se refiere a un proceso formado por las capas de fosfato en las superficies de metal, que emplea una

solución de fosfatado de Fe(II) conteniendo en su composición de 0.4 a 30 g/l de Zn, 10 g/l Fe(II); 0.3 g/l (Fe(III) .

- Patente No 5, 039, 363 de Estados Unidos, se refiere a un proceso para el fosfatado de las superficies de hierro y zinc o combinado tratando las superficies de metal con un ácido fosfórico de zinc acuoso, solución que contiene aproximadamente de 0.1 a 200 g/l de ión de zinc, de 5 a 40 g/l de ión de fosfato, y aproximadamente de 0.01 a 20.0 g/l de tungsteno soluble.
- Patente No 7, 422, 692 de Estados Unidos, refiere que la composición líquida contiene por lo menos como el aditivo una selección del ácido nitroso, el ácido de permanganato, el ácido de peroxysulfúrico, el peróxido de hidrógeno, el ácido clorhídrico, el ácido perclórico, el ácido nitrobenzenosulfónico, el hydroxylamina, el almidón/fosfórico, el ácido esteárico, flúor, y la solución coloidal acuosa contiene óxido de titanio, hidróxido de titanio, y fosfato de cinc.
- Patente No 6, 179, 934 de Estados Unidos, refiere que la composición de fosfatado de zinc acuosa que cubre la superficie metálica contiene iones de fosfatado, iones de cinc e hydroxylamina, y también contiene ácido policarboxílico.

1.13. Posibles propuestas de mejoras en el proceso de producción.

Del conocimiento previo del proceso de producción de la disolución de fosfatado y consultando el banco de problemas de la Planta Piloto, se observan aspectos del proceso que pueden ser mejorados a corto, a mediano y a largo plazo, pero por la magnitud del trabajo no pueden ser abordados todos en su conjunto.

A largo plazo, al disponer de recursos, se impone la automatización de los procesos que se realizan en la Planta Piloto, aspectos que no son abordados en el presente trabajo.

A mediano plazo, que se lograría con la estabilidad del proceso productivo, período en que se deben de ejecutar la mayoría de las modificaciones de la

Planta Piloto, se ha planteado por los especialistas la necesidad de mejora del sistema de envase, entre otros aspectos.

A corto plazo, se analizan aquellos procesos que más inciden en la planta y que llevan un menor costo.

Las propuestas de mejora que propone el autor se encuentran dentro de las que son ejecutables a mediano y corto plazo.

Capítulo 2. Materiales y métodos.

2.1. La agitación establecida y su efectividad

La forma de agitación para el sistema de producción de disolución de fosfatado es neumática, que a pesar de responder de cierta manera a las necesidades de la Planta Piloto, presenta desventajas significativas frente a un sistema de agitación mecánico. Ejemplo de ello es que por la naturaleza del sistema, en producciones donde se necesitan agregar aceleradores a la formulación, estos son oxidados por el oxígeno de la corriente gaseosa; el régimen de trabajo bajo la potencia de la corriente mencionada no garantiza la turbulencia necesaria para homogenizar la mezcla y conjuntamente es imprescindible utilizar la acción un obrero para remover el volumen muerto; además que el tiempo en que permanece el óxido de zinc granulométricamente visible formando la suspensión es exagerado comparado con el que se necesita si la agitación establecida fuese la mecánica.

2.2. Mejoras al sistema de producción.

2.2.1. Metodología para la selección y cálculo del agitador

La agitación en el medio líquido de este sistema tiene como fin homogenizar la concentración de las partículas en la suspensión.

El sistema de agitación y mezclado existente es neumático, donde se aprecia la ineffectividad del mismo es por eso que el autor propone la agitación mecánica que para las condiciones de trabajo destaca una mayor eficiencia, y a continuación proyecta la secuencia de cálculo para el sistema propuesto:

Tabla 2.1 **Propiedades de las sustancias involucradas en el proceso tecnológico a 1 atm y 25°C.**

Sustancia	μ (cPs)	ρ (Kg/m ³)
Ácido fosfórico	32	1685
Óxido de Zinc		5606
Agua	1	1000

- **Propiedades de la mezcla.**

Para estimar las propiedades de la mezcla se utilizaron las ecuaciones propuestas por Rosabal, J; Valles, M. (2006).

- **Densidad de la suspensión (ρ_s)**

$$\rho_s = 1 / [(x/\rho_p) + (1-x)/\rho] \quad \text{Ecuac. (2.1)}$$

$$\rho = \sum \rho_i * x_i \quad \text{Ecuac. (2.2)}$$

Donde:

ρ - densidad del medio líquido

ρ_p - densidad de partícula

ρ_i - densidad del componente i

x – fracción masa de sólidos en la suspensión

x_i - fracción másica del componente i

- **Viscosidad de la suspensión**

Estimar la viscosidad del medio ácido fosfórico – agua

$$\mu^{1/3} = \mu_{\text{ác}}^{1/3} + \mu_{\text{agua}}^{1/3} \quad \text{Ecuac. (2.3)}$$

Donde:

μ - es la viscosidad del medio líquido

$\mu_{\text{ác}}$ – es la viscosidad del ácido fosfórico

μ_{agua} –es la viscosidad del agua

- **Calcular fracción volumen de sólidos en la suspensión (ϕ)**

$$\phi = \frac{x\rho}{\rho_p - (\rho_p - \rho)x} \quad \text{Ecuac. (2.4)}$$

Como $\phi \leq 0.1$ entonces se calcula la μ_s (Viscosidad de la suspensión) según la siguiente ecuación:

$$\mu_s = \mu (1 + 2.5*\phi) \quad \text{Ecuac. (2.5)}$$

En el Anexo 2 se destacan los resultados de la estimación de las propiedades basándose en la metodología de cálculo expuesta anteriormente.

- **Selección del agitador y cálculo de los parámetros de trabajo.**

El sistema en fábrica tiene los dos tanques de reacción de altura (H) igual a 0.68 m y diámetro (D) igual a 1.42 m, y sobre esta data se realiza la selección del agitador.

El diámetro de partícula (Dp) de trabajo es de 600 μm.

Como no debe ser creado un alto grado de agitación debido a las condiciones de trabajo, entonces se seleccionó el agitador de paletas se recomiendan según Rosabal, J; Valles, M. (2006) en la p.269 para sistemas discontinuos de viscosidad menor a los 3000 cP o en sistemas en que el contenido de sólidos es pequeño y en los reactores se desarrollan reacciones químicas lentas.

Como la relación d/D es 0.66 entonces:

$$D/d = 1.51 \approx 1.5$$

Por tanto se procede a calcular al número de Arquímedez (Ar) y después el número de Reynolds de la mezcla (Re_m)

$$Ar = Dp^3 \rho_s (\rho_p - \rho_s) g / (\mu \times 10^{-3})^2 \quad \text{Ecuac. (2.6)}$$

$$Ar = 5366.59$$

$$Re = C * Ar * (Dp/d)^{0.5} (D/d)^k \quad \text{Ecuac. (2.7)}$$

Donde C y k son valores que dependen del tipo de agitador, siendo C=14.8 y k=0 para el agitador de paletas.

$$Re_m = 2009.64$$

La velocidad del rodete mínima (n) necesaria para mantener las partículas en suspensión es:

$$n = Re_m * \mu_s / d^2 * \rho_s \quad \text{Ecuac (2.8)}$$

$$n = 2.2088 \text{ rev/seg} = 132.53 \text{ rev/min}$$

Con el Re_m y en la curva del agitador con tabiques verticales (2) se busca en la figura 9.7 (Rosabal, J; Valles, M. 2006, p275) el valor del factor de potencia (Kn) para poder calcular la potencia consumida por el agitador (N)

$$Kn = 0.7$$

Siendo Kn - el factor de potencia

Para valores de $H \neq D$, Kn debe multiplicarse por $(H/D)^{0.5}$

Por lo que

$$Kn_{\text{modificado}} = 0.484$$

$$N = Kn_{\text{modificado}} * \rho_s * n^3 * d^5 \quad \text{Ecuac (2.9)}$$

$$N = 4262.1 \text{ W}$$

- **Tiempo de agitación**

Para lograr un grado de agitación que logre uniformidad tanto en la concentración como en la temperatura, según Rosabal, J; Valles, M. (2006) se propone la siguiente ecuación:

$$t = Ct/n \quad \text{Ecuac (2.10)}$$

Siendo

t - tiempo de agitación y Ct – constante según la tabla 9.2 de la literatura citada.

Donde $Ct = 96.5$

Por lo que

$$t = 43.68 \text{ seg}$$

2.3. Muestreo en el control de la calidad.

El muestreo de control de la calidad al producto terminado, se realiza al concluir cada una de las producciones de la disolución de fosfatado por la boca donde se carga el tanque de reacción, con una vara que contiene un frasco vacío en la

punta, que se voltea a las alturas de muestreo (tope del tanque, medio y fondo) boca arriba para que salga el aire y entre la muestra.

Este tipo de muestreo ha sido afectado debido a que no es confiable puesto que en diferentes ocasiones por desconocimiento de los operarios no se ha efectuado a las alturas requeridas, además de que arrastra residuos de la capa no correspondiente de la zona que debe ser muestreada.

Estas tres muestras expresadas analíticamente por valoración en puntos de ácido se promedian y efectivamente se ubican en el rango establecido según la norma de calidad en planta estandarizada.

Según Figueredo, Y. (2012) en el Informe de control de Calidad del Jefe de Planta se verificó que a pesar de la disolución estar en rango, la acidez libre y la acidez total estaban fuera de rango en dos lotes de producción contradictoriamente, todo esto por mal muestreo del operador que realizó dicha operación.

Es por eso que se propone en este trabajo que los tanques de reacción se les perforen a los niveles medio y fondo dos orificios y se les instalen los accesorios correspondientes para una mejor toma de muestras.

Otras de las causas que han afectado el proceso es la toma de muestras en momentos inoportunos.

2.4. Instalación de bomba y accesorio para el ácido.

El sistema de flujo está que se propone en este acápite, bombea el ácido fosfórico hacia los tanques de reacción. Atendiendo a los datos que le fueron suministrados al autor por parte del CEAT, se concibió que:

$$V_t = 0.5 \text{ m}^3$$

$$H_t = 1.37 \text{ m}$$

Siendo V_t y H_t el volumen y la altura del tanque respectivamente.

El sistema de flujo propuesto para el cálculo de los parámetros de la bomba de ácido fosfórico se puede ver en el Anexo 3.

Tabla.2.2. Datos de las tuberías del sistema de flujo de fluido

	DN - diámetro nominal			DI- diámetro interno			
	tubería de succión (1)	1	pulg	cat 40	26,64	mm	0,02664
tubería de descarga (2)	1 /2	pulg	cat 40	15,8	mm	0,0158	m

Para el sistema se estimó un flujo volumétrico (q) igual a 0.25 l/s.

$$q = 0.00025 \text{ m}^3/\text{s}$$

La velocidad en cada uno de los tramos de tubería (v_i), el número de Reynolds (Re_i), y factor de fricción (f_i) fueron calculados teniendo en cuenta las siguientes expresiones.

$$v_i = 4q/\pi*d_i^2 \quad \text{Ecuac (2.11)}$$

Donde

d - es el diámetro de la sección i .

$$Re_i = \rho*v_i*d_i/\mu_i \quad \text{Ecuac (2.12)}$$

Donde ρ y μ son la densidad y viscosidad del ácido fosfórico.

$$f_i = 64/ Re_i \quad \text{Ecuac (2.13)}$$

La ecuación 2.13 se calcula por esa relación debido a que los valores de Re son menores que 2100, siendo este régimen laminar.

Tabla 2.3 Valores de velocidad, número de Reynolds, e/d y factor de fricción.

Tramo	v (m/s)	Re	e/d	f
Succión (1)	0,448747364	631,988975	0,37537538	0,10126759
Descarga(2)	1,275722391	1065,58141	0,63291139	0,06006111

Los valores de e (rugosidad) para ambos tramos, por ser propuestas tuberías de acero inoxidable o de vidrio tienen un valor de 0.01 mm. (Rosabal. J ; Garcell. L, 2006)

Para el sistema según el anexo anteriormente citado se realiza balance de energía mecánica:

$$(P_1/\rho * g) + Z_1 + (\alpha_1 * V_1 / 2 * g) + H_b = (P_2/\rho * g) + Z_2 + (\alpha_2 * V_2 / 2 * g) + H_f \quad \text{Ecuac (2.14)}$$

Donde

i – es el punto seleccionado en el balance de carga.

P_i – es la presión.

Z_i – es la altura.

V_i – es la velocidad

α_i – es el factor de corrección de velocidad según el régimen de flujo.

H_b – es la carga de la bomba en unidades métricas.

H_f – es la carga métrica total de pérdidas por fricción.

El reactor trabaja a presión atmosférica aunque tiene tapa y los términos siguientes se hacen cero $P_1/\rho * g = P_2/\rho * g$.

La velocidad en el punto 1 está en el líquido y se estima que haya un efecto piscina, por lo que se hace cero.

Para Re laminar el valor de $\alpha = 2$.

Simplificando la ecuación 2.14 y despejando H_b nos queda que:

$$H_b = Z_2 - Z_1 + (\alpha_2 * V_2 / 2 * g) + H_f \quad \text{(Ecuac 2.15)}$$

$$H_f = h_{f_{tub}} + h_{f_{acc}} \quad \text{(Ecuac 2.16)}$$

Donde

$h_{f_{tub}}$ – pérdidas por fricción en tuberías

$h_{f_{acc}}$ – pérdidas por fricción en accesorios.

$$\sum h_{f_{tub}} = \sum f * L * V_i^2 / d_i * 2 * g \quad \text{(Ecuac 2.17)}$$

Donde

L -es el largo de la tubería

g- es constante gravedad.

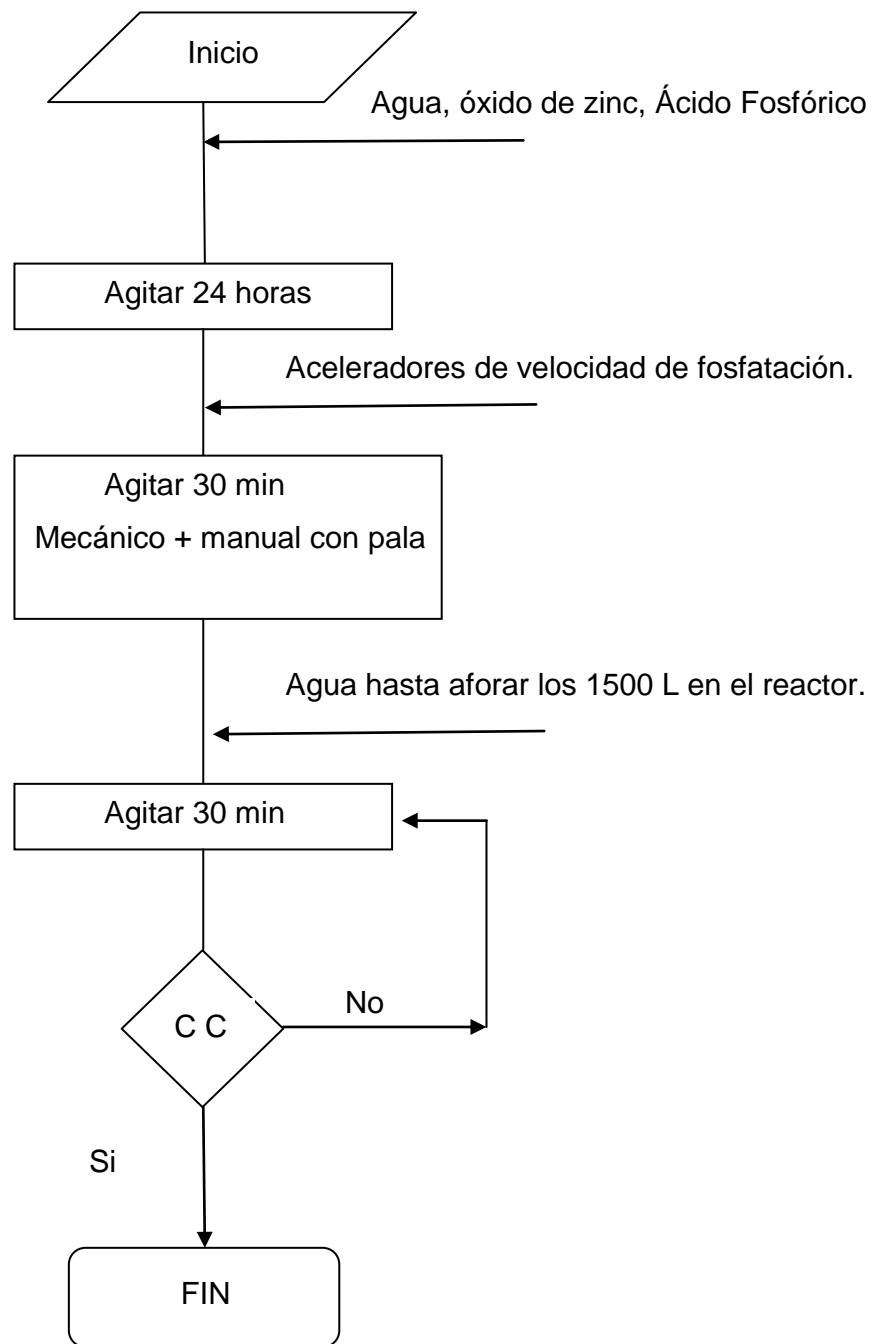
$$\sum hf_{acc} = \sum K_j * V_i^2 / 2 * g \quad (\text{Ecuac 2.18})$$

Donde K_j – es el coeficiente de resistencia de cada accesorio.

2.2. Proceso tecnológico de Disolución de fosfatado.

El proceso de disolución de fosfatado que se realiza en la Planta Piloto de la Universidad de Matanzas, está basado en una tecnología que aunque resuelve la producción presenta dificultades en cuanto a la potencia de agitación, geometría del sistema y mejoras que determinan la estabilidad del proceso, como es la automatización del mismo. Este es un proceso que por ser a escala piloto es tecnológicamente aprobado por los especialistas del CEAT para realizar varias formulaciones a base de ácido fosfórico, que mecánicamente son determinadas por la operación unitaria de agitación y de mezclado.

2.3. Diagrama del proceso de Disolución de fosfatado.



CC – Control de calidad (Se verifican los parámetros)

2.4. Cálculo de la ganancia en la próxima etapa de producción.

$$G_{(MN)} = P - CP = \$/L \quad (2.19)$$

$$G_{(CUC)} = P - CP = \$/L \quad (2.20)$$

$$G_1 = G_{(MN)} + G_{(CUC)} = \$/L \quad (2.21)$$

$$G_T = G_1 * N = \$/año \quad (2.22)$$

Donde

CP – es el Costo de producción

G_1 y G_t - Ganancia Unitaria y Ganancia Volumen de producción.

P – Precio unitario del producto

N – Volumen de producción.

Los datos son tomados de la Ficha de costo de la disolución de fosfatado (DISTIN 504) realizada por la Planta Piloto. Ver anexo 4.

2.5. Caracterización tecnológica del proceso de disolución de fosfatado.

Esta tecnología está sustentada en las Patentes 48/85 y Patente 193/94, que incluyen las composiciones y los procedimientos de obtención. Además de la experiencia práctica sobre el proceso que se recoge en los procedimientos de la tecnología de la Planta Piloto. El proceso de producción de disolución de fosfatado se realiza en la situación actual en 2 tanques plásticos de 1500 lts cada uno donde hacen la función de reactor diseñados para producir disolución de fosfatado. Las principales etapas del procedimiento de obtención se describen seguidamente:

1. El operador adiciona 70% del volumen de H₂O, que para cada lote de producción es de 1000 lts es de 127 lts de H₂O durante 90 min.
2. Se inspecciona alrededor de los tanques para prever que no existan averías, salideros en los tanques no menos de 2 min.

3. Posterior a esto se comienza a añadir los 262 lts de H₃PO₄ al 85% al tanque de operación durante 40 min. El ácido se le adiciona manualmente a través de los registros o tapa superior de los tanques.
4. Agregar de la misma forma los 380 Kg de zinc electrolito durante 10 min. dándole un tiempo de reacción de no menos de 24 horas con el fin de que la reacción sea completa.

Todo esto se debe a la características constructiva de los tanques no poseen agitadores y el ácido se encuentra diluido al 70% del volumen de H₂O para disminuir la agresividad de la reacción exotérmica entre el ácido fosfórico y el zinc.

5. Al término de las 24 horas se verifica a simple vista y por todo la disminución de la temperatura en un período no más de 13 seg. si la reacción se completa se procede a añadirse el resto de los reactivos aceleradores (NaNO₃ y NaNO₂) 148,962 y 28, 184 lts respectivamente en un período de 15 min para cada reactivo y agitándose durante 30 min. en lo posible por instrumento plástico para que las sales se disuelvan en el menor tiempo posible procediéndose por último a dosificarse los 54 litros de H₂O correspondiente al 30% que faltaba durante 50 min. y volviéndose a agitar por el procedimiento anteriormente especificado durante 30 min.

-Las operaciones ocurren a presión y temperatura ambiente.

6. Cuando la disolución esta lista se procede a coordinar con el especialista para su control de la calidad realizándose análisis de acidez por métodos realizando ensayos con probetas. Las operaciones de análisis de calidad demora un tiempo de 2 horas.
7. Al confirmarse por parte del especialista la producción realizada se encuentra dentro de los parámetros de calidad establecido para su comercialización se procederá a su envase en pomos plásticos de 1, 5 y 20 lts respectivamente.
8. Luego de ser envasada toda la producción y comprobarse que los tanques plásticos de 1500 lts no se puede extraer más soluciones se procede a su lavado con H₂O potable de las líneas y accesorios dejándose los mismos

drenados y todas las válvulas del sistema en posición cerrada. El proceso de lavado del reactor incluyendo los tanques plásticos es realizado durante 4 horas.

Capítulo 3 Análisis de los resultados

3.1. Estimación del precio del agitador

Las condiciones de trabajo que se presentan en planta no cumplen con el criterio de ingeniería que tradicionalmente expresa que H/D en el tanque de reacción debe cumplir con la igualdad a 2. Por lo que para la estimación correcta del precio del agitador seleccionado (Acero inoxidable 304) se tomó en cuenta esta imprecisión y la anteriormente mencionada.

Para esta estimación se consultó bibliográficamente la: Chemical Engineering, Current Cost of Process equipment (1982).

- **Cálculo de las dimensiones del tanque sin agitador.**

$$V = \pi * D^2 * H / 4 \quad (\text{Ecuac 3.1})$$

$$D = 1,42 \text{ m}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

$$V = 4,45 \text{ m}^3 = 1283,78 \text{ gal}$$

Donde

D- es el diámetro del tanque

H- la altura

V- es el volumen

Con estos valores calculados y a partir de las gráficas de la bibliografía anteriormente citada se infieren los costos siguientes:

$$\text{Costo del tanque sin agitador} = \$4200$$

$$\text{Costo del tanque con agitador} = \$10300$$

Por diferencia entonces:

$$\text{Costo del agitador}_{1981} = \$6100$$

Como este costo es para el año 1981 se actualiza por regla de tres y utilizando el índice de costo del año 2012 el valor del agitador.

Índice de Costo	año	costo
294	1981	6100
584.6	2012	X?

Costo del agitador = \$12006.94

3.2. Estimación del precio de la bomba y tanque de ácido.

Sustituyendo en cada una de las ecuaciones del epígrafe 2.4. nos quedan los siguientes resultados:

Tabla 3.1. Datos del sistema y resultados de las Hf y Hb.

Z2	3,6	m
Z1	1,37	m
Tramo tubería 1	1	m
Tramo tubería 1	8.7	m
K	6	válvula de globo abierta
	0,75	codo de 90 °
Antes de la bomba (1)		
Hf tub	0,03902	m
Hf acc	0,06158	m
Después de la bomba (2)		
Hf tub	2,74327	m
Hf acc	0,55991	m
Hb	5,46787983	m

Asumiendo una eficiencia (η) igual a 0.75, se procede calcular la potencia de la bomba (N).

$$N = H_b \cdot q \cdot \rho \cdot g / \eta \quad (\text{Ecuac 3.2})$$

$$N = 30.25 \text{ Kw}$$

Para estimar estos precios se utilizó el Software Capcost que precisa el precio para la bomba de ácido de 30.25 KW, sin contar la de repuesto, con sus accesorios y tuberías, en \$1 1500.

El precio del tanque fue estimado a partir de los precios que hoy se pueden encontrar en el mercado internacional, que por ser de plástico, con un volumen de 0.5 m³, H= 1.37 m y horizontal su posición está sobre los \$ 400.

3.3. Estimación de la inversión.

Para estimar el monto total de la de la inversión (I), se asumió la propuesta hecha por el autor en cuanto a las mejoras del proceso. Estas incluyen el costo de un agitador, un tanque plástico para el almacenamiento y bombeo de ácido fosfórico, y una bomba acoplada al tanque con todo el sistema de flujo para el bombeo del ácido anteriormente mencionado.

Es válido aclarar que aunque el proceso productivo actual posee dos tanques de reacción, en la propuesta que hace el autor se toma solo en la inversión la adquisición de un solo agitador, porque en caso de ser ejecutada, en un solo tanque se pueden producir por semana 10 templeas de 1500 L que serían en total 15000 L, siendo este monto mucho mayor que la producción actual de la planta por semana, 6000 L. Además, los precios estimados con el Software mencionado en epígrafe anterior, y actualizados fueron afectados con la tasa de cambio (CUC / CUP = 25) establecida para la relación entre la moneda nacional (CUP) y la libremente convertible (CUC), asumiendo dicha relación ente el dólar y la moneda nacional.

$$i = i_{\text{agitador}} + i_{\text{tanque ácido}} + i_{\text{bomba +accesorios}} \quad (\text{Ecuac 3.3})$$

$$i = \$12006.94 + \$400 + \$11500$$

$$i = \$23906.94$$

Siendo i la inversión sin ajustar.

Si es afecta la inversión (i) por la tasa de cambio nos queda que:

$$I = i * 25 \quad (\text{Ecuac 3.4})$$

$$I = \$597673.5$$

Siendo I la inversión real.

Tabla 3.2 Inversiones tabuladas.

Inversión		\$	597673,5
taza cup/\$		25	
		total	23906,9400
Bomba con accesorio.		\$	11500,0000
Tanque de plástico		\$	400,0000
agitador	12006,9400		12006,9400

3.4. Diseño del agitador

De los parámetros arrojados del análisis para la selección y el cálculo del agitador en el epígrafe 2.2.1, y teniendo en cuenta el dimensionamiento del equipo establecido en la tabla 21 del (Rosabal, J.; Valle, M., 2006), conjuntamente con la geometría del tanque de agitación existente en la Planta Piloto, queda establecido las características siguientes:

Diámetro del agitador (d) = 0.93 m

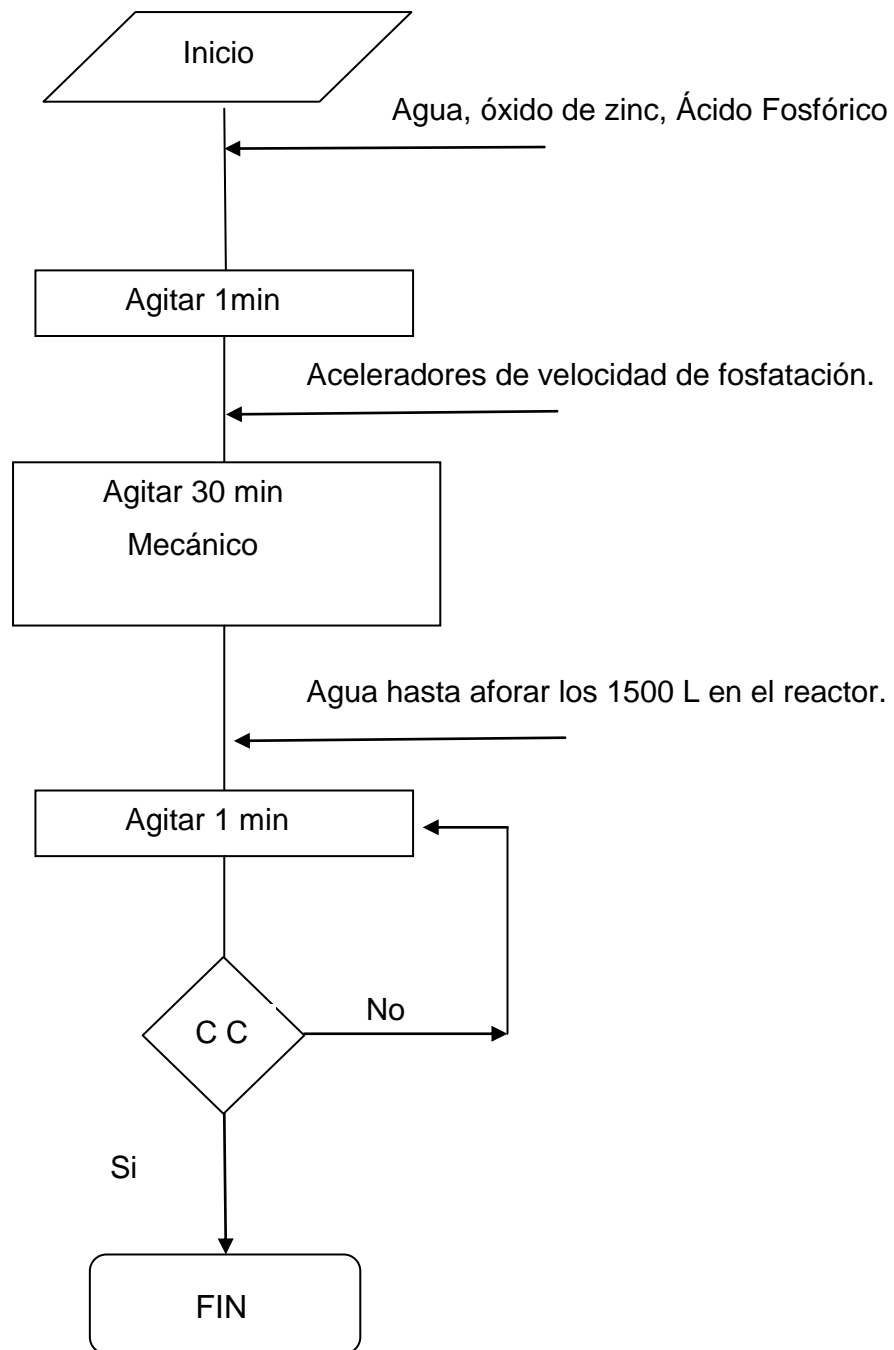
Ancho de la paleta (b) = 0.094 m

Número de paletas (Z) = 2

Inclinación del plano de las paletas con respecto a la horizontal (α') = 90°

Siendo la relación del diámetro del agitador (d), entre el diámetro del tanque de agitación (D) igual a 0.66.

3.5. Diagrama de flujo de la próxima etapa productiva.



CC - Control de calidad (Verificar los parámetros establecidos)

3.6. Otras mejoras del tipo operacional.

Se recomienda que desde que comience la carga del tanque de reacción agitador debe operar, e ir introduciendo el agua junto con el ácido simultáneamente, con el fin de disminuir el tiempo de carga de la templa.

Otra de las mejoras es instalar una torva de dosificación del óxido de zinc, para humanizar y hacer más efectivo el trabajo.

Montar un tanque para el ácido fosfórico y la instalación de flujo del mismo, con el objetivo de humanizar el trabajo y hacer más rápida y eficiente esta operación.

3.7. Análisis Económico.

Para el análisis económico de inversión se estudia factibilidad económica de las mejoras que se proponen con un VAN y un TIR, basados en los métodos dinámicos, y posteriormente se verifica la ganancia en la próxima etapa de producción.

- Valor actual neto (VAN).
- Tasa Interna de Rendimiento (TIR) ó tasa interna de retorno.

El método de comparación del Valor Actual Neto (VAN) consiste en reducir todas las diferencias futuras entre alternativas a una sola cantidad presente equivalente. El VAN refleja la rentabilidad de la inversión en términos absolutos. El VAN puede calcularse por la expresión (6.4) (Medina, A. 2003, p 149)

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{St}{(1+i)^t} \quad (\text{Ecuac 3.5})$$

Donde: I: Inversión inicial. St: Movimiento de Fondo. t: mes. i: tasa de interés o tasa de descuento.

Según este criterio, se podrán efectuar aquellas inversiones que tengan un VAN positivo, siendo más interesante cuanto mayor sea el VAN. (Medina, A. 2003) Tasa Interna de Rendimiento (TIR) ó tasa interna de retorno. Otro método dinámico utilizado es la tasa interna de retorno, que se define como aquella tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos netos de efectivo esperados de un proyecto con el desembolso inicial, es decir, se acostumbra a definir TIR, como aquella tasa de descuento que iguala a cero el VAN. La TIR (ecuación 4.5) (Turton, L. 2009, p100) sería:

$$TIR : VAN = 0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} \quad (\text{Ecuac 3.6})$$

Todos los cálculos fueron realizados utilizando la herramienta de cálculo Microsoft Excel.

3.8. Análisis técnico - económico.

Para la realización del análisis técnico – económico se tuvo en cuenta la ficha de costo de la disolución de fosfatado DISTIN 504. También se consideró una tasa de interés imputada de un 10%. El análisis implica el cálculo del VAN (65939,74), arrojando este un valor en el orden de los miles al igual que el de la inversión, y el TIR (12.5 %) que a pesar que está por encima del interés imputado en 2.5%, advierte que la inversión es riesgosa, pero este valor en los tiempos actuales donde la variación en el porcentaje de interés imputado en una unidad es discutible tanto por el que da el crédito como por el cliente, y es poco variable en la misma magnitud, se considera por el autor aceptable.

Esta inversión que sirve no solo para el DISTIN 504, en la consideración económica se le carga solo al flujo de caja del mismo, pero si le carga también a otros productos similares (DISTIN de la serie 500) que pasan por esta línea de producción, el plazo de recuperación de la inversión sería menor que el arrojado,

5.5 años, haciendo mucho más factible el movimiento de flujo de caja y por ende, la inversión que se propone sería económicamente tentativa desde el punto de vista de su posible factibilidad. Todo lo anterior puede verse en la tabla siguiente:

Tabla 3.3. Flujo de caja tabulado con Microsoft Excel.

Flujo de caja	Interés =	0,1000		
Año	0	1	2	3
Inversión	\$597.673,50	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Pagos totales	\$597.673,50	\$1.356.000,00	\$1.356.000,00	\$1.356.000,00
Cobros totales	\$0,00	\$1.464.000,00	\$1.464.000,00	\$1.464.000,00
Mov. De fondos	-\$597.673,50	\$108.000,00	\$108.000,00	\$108.000,00
Mov. De fondos acumulado	-\$597.673,50	-\$489.673,50	-\$381.673,50	-\$273.673,50
Mov de fondos actualizado	-\$597.673,50	\$98.181,82	\$89.256,20	\$81.142,00
Año	4	5	6	7
Inversión	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Pagos totales	\$1.356.000,00	\$1.356.000,00	\$1.356.000,00	\$1.356.000,00
Cobros totales	\$1.464.000,00	\$1.464.000,00	\$1.464.000,00	\$1.464.000,00
Mov. De fondos	\$108.000,00	\$108.000,00	\$108.000,00	\$108.000,00
Mov. De fondos acumulado	-\$165.673,50	-\$57.673,50	\$50.326,50	\$158.326,50
Mov de fondos actualizado	\$73.765,45	\$67.059,50	\$60.963,18	\$55.421,08
Año	8	9	10	
Inversión	\$0,00	\$0,00	\$0,00	
Pagos totales	\$1.356.000,00	\$1.356.000,00	\$1.356.000,00	
Cobros totales	\$1.464.000,00	\$1.464.000,00	\$1.464.000,00	
Mov. De fondos	\$108.000,00	\$108.000,00	\$108.000,00	
Mov. De fondos acumulado	\$266.326,50	\$374.326,50	\$482.326,50	
Mov de fondos actualizado	\$50.382,80	\$45.802,54	\$41.638,68	
VAN =	65939,74742	> 0 se acepta la inversión		
TIR =	0,12511	> 0,1 se acepta la inversión		
Costo por peso producido =	0,92623	< 1 es rentable el proceso		
Plazo de recup. Inversión ,años=	5,5340			
Valor de producción	1464000,0000	\$/año		
Costo total de producción	1356000,0000	\$/año		

Teniendo en cuenta las ecuaciones 2.19; 2.20; 2.21 y 2.22 y un año productivo con 40 semanas laborales y 15000L por semana como base de cálculo se obtienen los resultados siguientes:

$$G_{(MN)} = 0.18$$

$$G_{(CUC)} = 0.11$$

$$G_1 = 0.18 + 0.11 = 0.29\$/L$$

$$G_T = 0.29 * 600000 = 174000\$/año$$

Esta ganancia corresponde a las mejoras propuestas para la inversión.

Conclusiones

- Se cumple la hipótesis planteada en el trabajo a partir de una correcta evaluación de los factores que afectan la tecnología de disolución de fosfatado DISTIN 504, que permiten una vez implementados mejoras en el proceso como las señaladas.
- Se evaluó genéricamente a partir de las experiencias en planta el sistema de agitación de los reactores de disolución de fosfatado y se propuso el cambio a agitación mecánica como mejora entre otras.
- La fundamentación técnica de la propuesta de mejora del proceso tecnológico (modificación) se presenta sustentable por la disminución del tiempo de operación, el aumento del volumen de producción, además de lograrse una mayor calidad en el proceso de disolución de fosfatado.
- Como resultado del análisis económico se logra un aumento de la ganancia gradualmente cada año, un VAN de 65939,74; el TIR es de un 12.5% y el período de recuperación de la inversión que justifica la propuesta es a mediano plazo 5.5 años, que a pesar de ser riesgosa la inversión, establece facilidades que son discutibles.

Recomendaciones.

- Estimar por métodos más exactos las características del sistema de flujo de fluidos en general.
- Preparar al personal que ejecuta los trabajos en planta para una mejor comprensión de los fenómenos que ocurren en el proceso productivo.
- Colocar en un reactor el sistema de agitación propuesto.
- Validar económicamente de forma integral la línea de producción de los DISTIN (serie 500), después de ser implementadas cada una de las mejoras propuestas en planta.

Bibliografía

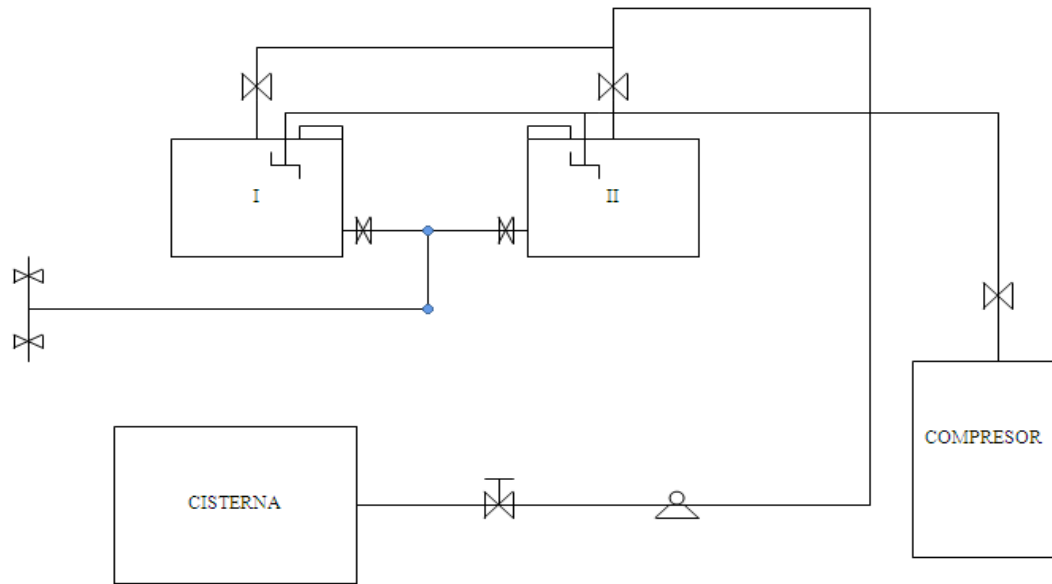
1. Acguarine, S. 1983. Constitution and corrosion resistance of phosphate. Coating. Methods technol. Vol. I, No. 2.
2. Bender, H.S. et al. 1980. Zn phosphate. Treatment of methods. Progress in organic coating. Vol. 8, No. 3.
3. Blundhuber, G. et al. 1993. Procedimiento para la realización de recubrimientos de fosfato sobre superficies metálicas. Patente Es 2, 038, 483. España.
4. Burgaroles, J. 1988. Aplicaciones prácticas de la fosfatación fumógena en los procesos de pintura. Pinturas y acabados industriales. Vol. 30, No. 164.
5. Chemical Engineering. 1982. Current Cost of Process equipment.
6. Da Costa, C. 1989. Estudio de algunas variables involucradas en el proceso de fosfatación de aceros al carbono. Anuales Brasil 3er Encuentro Iberoamericano de Corrosión y Protección.
7. Feliú, M.S. et al. 1984. Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión. Ed. Geafimol.
8. Figueredo, Y. 2012. Informe de Control de la Calidad. Proceso de Disolución de fosfatado.
9. Fritz, Todt. 1959. Corrosión y protección. Ed. Aguiar. Madrid.
10. Gehneiber, Hoist et al. 1994. Procedimiento para la generación de recubrimiento de fosfato sobre metales. Patente Es 2, 058, 464. España.
11. Gruyes, Sya. 1971. Oxidación y fosfatación de los metales. Edición Mashenostrenil. Leningrado.
12. Lainer, V.I. Capas protectoras de los metales. Ed. Metalurgia, Moscú.
13. López Planes, R. 1986. Diseño estadístico de experimentos. Editorial Científico Técnico.
14. Lorin, G. 1974. Phosphating of metals. Ed. Fenishing Publications, LTD.
15. Mc Cabe, W y J. Smith. 1998. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Madrid: Mc Graw Hill. 4ta ed.
16. Medina, A. 2003. Herramientas económicas financieras para la toma de decisiones gerenciales. Editorial Félix Valera.

17. Patente de Estados Unidos No 3, 939,014: Composiciones de solución de fosfatado.
18. Patente de Estados Unidos No 5, 039,363: Composiciones de solución de fosfatado.
19. Patente de Estados Unidos No 5, 203,930: Composiciones de solución de fosfatado.
20. Patente de Estados Unidos No 6, 179,934: Composiciones de solución de fosfatado.
21. Patente de Estados Unidos No 6, 458, 219: Composiciones de solución de fosfatado.
22. Patente de Estados Unidos No 7, 208,053: Composiciones de solución de fosfatado.
23. Patente de Estados Unidos No 7, 422,692: Composiciones de solución de fosfatado.
24. Pavlov, K, *etal*, 1981. Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Mir: Moscú
25. Perry R.H., 2007. Perry's Chemical Engineers Handbook (7th Ed.), McGraw-Hill, Inc., New York (USA), ISBN 0-07-049841-5.
26. Rosabal, J; Garcell, L. 2006. Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas. Primera parte. Editorial Félix Valera, Ciudad de la Habana.
27. Rosabal, J; Valles, M. 2006. Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas. Segunda parte. Editorial Félix Valera, Ciudad de la Habana.
28. Rusinyol, M. 1999. Estudio de las disoluciones de fosfatado.
29. Sathynandom, B. et al. 1971. Examen crítico de los procedimientos de fosfatación. Pinturas y acabados industriales. Vol. 13, No. 61.
30. Toan, M. Ngo. 1992. Compositions and process for metal. Treatment. Patente 5, 112, 395. Estados Unidos.
31. Turton, L. 2009. Engineering Economic Analysis
32. Wittel. K. 1984. Procesos modernos de fosfatación con bajo contenido de Zn. Pinturas y acabados industriales, No. 137.

33. Zulueta, 2003. Estudio de composiciones y procedimientos de fosfatado para producciones nacionales.

Anexos

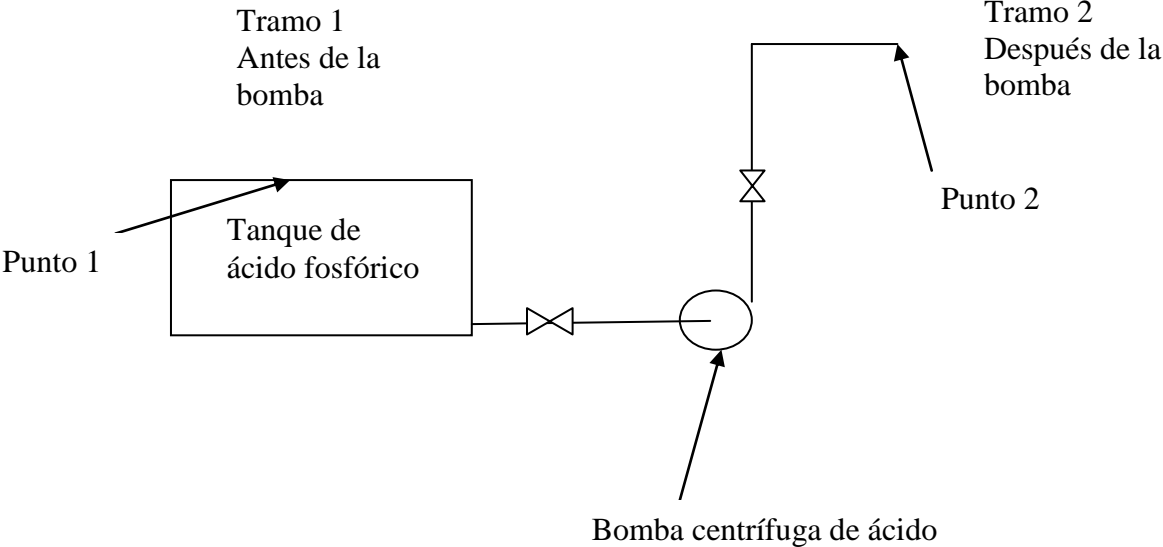
Anexo # 1 Esquema proceso de producción de Disolución de Fosfatado



Anexo # 2 Resultados de la estimación de las propiedades

Fracción			Densidad Mezcla=	1130,018267	
0,85	Ácido	X	0,018584	m mescla	
0,15		Fi	0,003619	1695,0274	Kg
			μ ac-agua	1,4	cP
			ρ ac-agua	1075,35	Kg/m3
			μ s	1,41266691	Kg/m3
			ρ s	1130,01827	Kg/m3

Anexo # 3 Sistema de flujo propuesto para el cálculo de los parámetros de la bomba de ácido fosfórico



Anexo # 4 Ficha de costo de DISTIN 504.

FICHA PARA PRECIO CUP Y COSTO EN PESOS CONVERTIBLES.			
EMPRESA: CEAT UMCC		Código: Distin 504	
Organismo: MES 60000	Plan de Producción:	Capac. Instalada: 120 000	
Producto o Servicio: Producto		% utiliz. Capacidad: 50	
Código Prod. o Serv.: DISTIN 504 1 L		UM: \$/L Producc. Period. Anterior:	
CONCEPTOS DE GASTOS	Fila	TOTAL UNITARIO	De ello: CUC
1	2	3	4
Materias Primas y Materiales	1.0	1.06	0.77
Materias Primas y Materiales fundamentales	1.1	0.87	0.77
Combustible y Lubricantes	1.2	0.00	0.00
Energía Eléctrica	1.3	0.15	0.00
Agua	1.4	0.03	0.00
Sub total (Gastos de elaboración)	2.0	1.20	0.36
Otros Gastos directos	3.0	0.10	0.02
Depreciación	3.1	0.10	0.00
Arrendamientos de equipos	3.2	0.00	0.00
Ropa y Calzado (trabajadores directos)	3.3	0.00	0.02
Gasto de fuerza de trabajo	4.0	0.26	0.00
Salarios	4.1	0.21	0.00
Vacaciones	4.2	0.02	0.00
Impuesto por la utilización de la Fuerza de trabajo	4.3	0.01	0.00
Contribución a la seguridad social	4.4	0.03	0.00
Estimulación en pesos convertibles	4.5	0.00	0.00
Gastos indirectos de producción	5.0	0.44	0.05
Depreciación	5.1	0.00	0.00
Mantenimiento y Reparación	5.2	0.10	0.05
Gastos Generales y de Administración	6.0	0.04	0.03
Combustible y lubricantes	6.1	0.02	0.02
Energía Eléctrica	6.2	0.00	0.00
Depreciación	6.3	0.00	0.00
Ropa y Zapato (trabaj. Indirectos correspondiente)	6.4	0.00	0.00
Alimentos	6.5	0.00	0.00
Otros	6.6	0.01	0.01
Gastos de Distribución y Ventas	7.0	0.33	0.24
Combustible y lubricantes	7.1	0.00	0.00

Energía Eléctrica	7.2	0.00	0.00
Depreciación	7.3	0.00	0.00
Ropa y Zapato (trabaj. Indirectos correspondiente)	7.4	0.00	0.00
Otros	7.5	0.33	0.24
Gastos Bancarios	8.0	0.04	0.02
Gastos Totales o Costo de producción	9.0	2.26	1.13
Margen utilidad S/ base autorizada	10.0	0.18	
PRECIO CUP:	11.0	2.44	
% Sobre el gasto en divisas (hasta un 10%)	12.0		0.11
Componente total en pesos convertibles	13.0		1.24
Elaborado por: Carlos A. Echeverría Lage	Firma:	Cargo:	Fecha:
Revisado por: Miguel Sarraff González	Firma:	Cargo:	Fecha:
Aprobado por: Armando Lauchy Sañudo	Firma:	Cargo:	Fecha:

FICHA TÉCNICA DISTIN 504

Disolución de Fosfatado Decapante Acción Rápida

Disolución de fosfatado decapante para la preparación **rápida** de superficies metálicas. Proporciona una limpieza a fondo de la superficie, penetra en los intersticios, convierte el óxido, sella y forma una capa protectora y resistente a deformaciones y a la acción agresiva de la atmósfera. Produce un efecto inmediato al tratar superficies oxidadas de chapas, accesorios, piezas, equipos del transporte, etc., previo a la aplicación de recubrimientos. Puede ser aplicada sobre recubrimientos de pintura que muestren partes oxidadas, convierte el óxido y elimina la mancha en la pintura.

Modo de Aplicación:

- **Proyección** : Pudiera aplicarse en áreas de difícil acceso, pero no resulta el método más adecuado por su fuerte carácter ácido, que requiere de protección.
- **Inmersión** : Se introduce la pieza desde 5 a 15 minutos en dependencia del grado de oxidación de la superficie a tratar, lográndose un alto rendimiento del baño, no requiere enjuague ni neutralización posterior si se espera al menos 72 horas para completamiento de la reacción.
- **Frotado**: Se emplea este método cuando no pueden ser empleado el método de inmersión, sobre todo en estructuras montadas, en el tratamiento de superficies oxidadas. Se recomienda para el aluminio y el zinc frotados ligeros.

Para aplicar este producto es necesario:

- Desengrasar.
- Eliminar el polvo.
- Eliminar los óxidos desprendibles.

Rendimiento :

- Se corresponde con el generalmente establecido para los productos líquidos de 10 m² /l en la preparación de superficies por frotado o brocha con más de una aplicación.
- En baños donde se introducen las piezas, permite tratar hasta 50 m² /litro.

Protección Anticorrosiva:

Garantiza la protección temporal de las superficies metálicas de días a semanas en las condiciones climáticas de Cuba en zonas de agresividad de la 4 a la 6, en dependencia de las condiciones de almacenamiento. Si se contamina la superficie con aerosol marino, esta debe ser lavada con agua antes de pintar, de lo contrario puede ser aplicada la pintura o la grasa directamente.

Condiciones de Conservación:

- **Intemperie** : De no encontrarse contaminada la superficie con aerosol marino, puede proteger la estructura por un período de hasta una semana.
- **Bajo techo**: Garantiza la protección temporal por varias semanas.
- **Almacén cerrado**: Puede mantener las piezas protegidas hasta un mes, lo cual no se prefiere, dada la posibilidad de contaminación de la superficie.

Aplicaciones derivadas de sus propiedades:

Al eliminar el óxido y manchas de forma rápida y formar una capa protectora con sales insolubles y protectoras, requiere del enjuague y secado posterior antes de aplicar pinturas, grasas o aceites de forma inmediata, de lo contrario debe esperar al menos 72 horas para completar las reacciones. Proporciona la capa de fosfato un excelente anclaje.

Transportación y almacenamiento:

El producto debe ser almacenado en tanques plásticos de diferentes capacidades. En estas condiciones se garantiza varios años sin afectación del producto.

Medidas de protección:

Por constituir una solución ácida deben tomarse todas las medidas que evite contactos con ojos, cortaduras. El producto no daña la piel y no contamina el ambiente del área de trabajo.

Comuníquese con:

Dirección: CEAT Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos" Km 3.5 Autopista a Varadero, Matanzas, Cuba. Teléfono: 261013 Ext. 326. Fax: 253101 E.Mail: merca.ceat@umcc.cu.

Se agradece nos solicite cualquier información adicional.

