

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

DISEÑO DE UN SISTEMA
PARA ABRILLANTADO DE
ELECTRODEPÓSITOS DE ESTAÑO



ENRIQUE FERNANDO JAIMES BRITO
INGENIERO QUÍMICO

M-165583
MÉXICO
1 9 7 3

M-165583



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DISEÑO DE UN SISTEMA PARA ABRILLANTADO
DE ELECTRODEPOSITOS DE ESTAÑO.

ENRIQUE FERNANDO JAIMES BRITO.

INGENIERO QUIMICO.

1973.

Jurado Asignado: Presidente: I.Q. Enrique Villarreal Domínguez
Vocal: I.Q. Manuel F. Guerrero Fernández
Secretario: I.Q. Enrique Jiménez Ruiz
1er. Suplente: I.Q. Alberto Solano Salazar
2do. Suplente: I.Q. Mayo Martínez Khan

Sitio donde se desarrolló el tema: Instituto Mexicano del Petróleo

Nombre completo y firma del sustentante:


Enrique Fernando Jaimes Brito

Nombre completo y firma del asesor del tema:


I.Q. Manuel F. Guerrero Fernández

INDICE GENERAL

| | Página |
|---|--------|
| I. Introducción | 1 |
| II. Métodos de estañado | 2 |
| III. Proceso de abrillantado de los depósitos de estaño | 20 |
| IV. Descripción del proceso de fabricación | 24 |
| V. Diseño del equipo | 34 |
| 1. Diseño del equipo para abrillantado del estañado electrolítico | 34 |
| 2. Diseño del equipo para desengrasado alcalino | 63 |
| 3. Diseño de la tina de lavado | 71 |
| VI. Consideraciones económicas | 76 |
| Conclusiones | 83 |
| Bibliografía | 84 |

I. INTRODUCCION

Considerando el amplio y extenso uso que el estaño tiene en la industria y su elevado costo en el mercado nacional e internacional, el presente trabajo se ha elaborado primordialmente con el fin de colaborar al desarrollo y adaptación de tecnología en nuestro País, tema del que tanto se ha hablado en estos últimos años; específicamente se concentra la atención en la selección del proceso de abrillantado que brinde mejores resultados para la obtención de una superficie brillante y sin porosidad, una vez que se haya hecho la electrodeposición del estaño, bajo condiciones adecuadas de operación. Al tomar en cuenta los factores antes descritos, se producirán piezas de equipo capaces de ser aceptadas bajo las normas mas estrictas de control de calidad y en condiciones tales, que puedan ofrecerse al consumidor a precios razonablemente justos.

Con este propósito en mente se hace una breve descripción de los métodos que actualmente se utilizan para llevar a cabo la operación de estañado y con el fin de definir adecuadamente el proceso, para mejorar su calidad, se describen todas las operaciones llevadas a cabo en la fabricación de molinos de semillas para uso doméstico, después de lo cual se cuenta con el conocimiento que permitirá hacer el diseño del equipo para abrillantado del estaño depositado electrolíticamente en las piezas mencionadas.

Considerando el bajo costo que tienen en el mercado los molinos para semillas, en vista de que su venta va dirigida hacia la clase con bajos ingresos, como es el campesino, se hará una consideración económica para que el costo de abrillantado corresponda a piezas de buena presentación, sin implicar elevación inmoderada en el valor del producto final, que en nuestro caso, es el mencionado molino de semillas para uso doméstico.

II. MÉTODOS DE ESTAÑADO

Existen básicamente dos métodos para llevar a cabo operaciones de estañado, que son: Inmersión en caliente y Deposición electroquímica.

INMERSION EN CALIENTE

El bajo punto de fusión del estaño y la facilidad con que se deposita sobre otros metales, son las razones por las cuales se ha utilizado por más de dos mil años en el recubrimiento de utensilios domésticos.

La principal ventaja que presenta este método es la de ofrecer una película higiénica, resistente a la corrosión y dar una presentación agradable a los utensilios.

Las operaciones involucradas en el estañado por inmersión en caliente son:

- a) Desengrase, consiste en la eliminación de aceite, grasa, etc., y de partículas sólidas que se adhieren al material.
- b) Decapado ácido, sirve para disolver las partículas de óxido sobre la superficie metálica.
- c) Fluidificación, para ayudar al estaño fundido a mojar la superficie del metal base.
- d) Estañado, se lleva a cabo introduciendo las piezas en un baño de estaño fundido.
- e) Manipulación, para obtener capas de la uniformidad y espesor requeridos y para impedir se suelden pequeñas partes de una a otra de las piezas, colocadas juntas en una canastilla.
- f) Acabado, incluye el enfriamiento, lavado, secado y pro--

tección del trabajo efectuado.

Las películas de estaño obtenidas por inmersión en caliente cubren un rango de aproximadamente 0.000381 cm. a 0.001778 cm. - con buena uniformidad en el espesor. Si se puede tolerar una distribución irregular, es posible aplicar capas hasta de 0.00254 - cm. de espesor o más, pero su uniformidad depende de la forma fisica del artículo y de la habilidad con que se manipule después del estañado.

La ventaja del estañado por inmersión en caliente es que se obtienen directamente, del recipiente de estañado, capas brillantes, sin necesidad de ningún abrillantado posterior de la pieza.

La substitución del estañado por inmersión en caliente para piezas de fundición, usadas en la industria de envases y equipo para el manejo de alimentos, se efectuó al escasear el estaño en tiempos de la segunda guerra mundial, por el hecho de que por -- vía electrolítica se pueden obtener capas mas delgadas y mas uniformes.

DEPOSICION ELECTROQUIMICA

Las condiciones del proceso de electroestañado dependen primordialmente de la composición del baño electrolítico, el cual - puede ser ácido o alcalino.

Baño Electrolítico Acido

Es posible usar un gran número de sales de estaño, aunque - las mas utilizadas comercialmente en los baños electrolíticos ácidos son de dos tipos. Los que contienen ácido sulfúrico o áci- do fluobórico.

Baño electrolítico que contiene ácido sulfúrico

El baño electrolítico que contiene ácido sulfúrico es probablemente el mas usado, a pesar de que el depósito que se obtiene es de una cristalización imperfecta, con una penetración de estaño muy pobre y de mediana adherencia; estas desventajas pueden reducirse con el uso de agentes de adición, tales como coloides y compuestos aromáticos, con los que se obtienen depósitos satisfactorios.

Existen formulaciones patentadas, en cuya composición se emplean agentes de adición, que imparten propiedades específicas a los depósitos. Una formulación representativa de este tipo de baño, para depositar estaño, es la siguiente:

| Material | Composición (g/l) | Límites de operación (g/l) |
|----------------------|----------------------|-------------------------------|
| Sulfato estanoso | 40 | 30-50 |
| Acido sulfúrico | 50 | 40-70 |
| Acido fenolsulfónico | 40 | 30-50 |
| Gelatina | 2 | 2.0 |
| Beta-naftol | 1 | 1.0 |

Puede observarse la presencia de agentes de adición como la gelatina y el beta-naftol, que sirven para obtener depósitos tersos de estaño. El ácido fenolsulfónico tiene como finalidad regular la oxidación de los iones estanosos durante la electrodeposición.

Este baño opera generalmente en las siguientes condiciones:

| | |
|--------------------------------|--|
| Temperatura | Ambiente |
| Densidad de corriente catódica | Baño estacionario: 1 amp/dm ² . Baño agitado: 10 amp/dm ² . |
| Voltaje | 0.4-0.8 volts. |

Este tipo de baño requiere generalmente agitación, para man

tener una concentración uniforme del ion estanoso, sobre todo, na ra densidades de corriente elevadas, ya que en otra forma se obtendrían depósitos de mala calidad, poco adherentes, quebradizos, oscuros y además con una tendencia a disminuir su valor protector contra la corrosión.

Sin embargo, debe tomarse en cuenta que al agitar el baño electrolítico, se pueden usar densidades de corriente elevadas, pero como consecuencia se aumenta la tendencia a la oxidación de los iones estanosos. Igual efecto produce la elevación de la tem peratura, por lo que se recomienda trabajar a temperatura ambien te.

El uso de equipo para filtración continua de la solución, - permite recircularla, eliminando la materia en suspensión, cau- sante de depósitos porosos y rugosos, minimizando además la oxi- dación de los iones estanosos.

La materia en suspensión se origina principalmente por las siguientes causas:

- a) Impurezas del medio ambiente o de las piezas, debidas a una limpieza mal realizada, previa a la aplicación del - estaño.
- b) Formación de sales estánicas, por la oxidación de la sal estanosa en contacto con el aire.
- c) Impurezas de los ánodos, que se desprenden durante su di solución.
- d) Por precipitación de agentes de adición.

Por todas estas razones se recomienda utilizar un equipo pa ra filtración continua.

Experimentalmente se ha encontrado que para el estañado, -- mediante el uso de un baño electrolítico ácido, la gelatina y el

beta-naftol, son los agentes de adición que producen mejores resultados, principalmente el de proporcionar granos cristalinos finos y tersos. La gelatina en solución se deposita simultáneamente con los cristales metálicos, orientando y regulando el crecimiento de éstos.

De lo anterior puede deducirse la importancia que tiene mantener constante el contenido de esas sustancias en la solución.

La disminución de esos agentes de adición trae como consecuencia: Incremento visible en el tamaño del cristal; disminución en el voltaje y rugosidad en la capa depositada. El voltaje disminuye conforme se van consumiendo los agentes de adición, por lo que deben reemplazarse para mantener los límites especificados.

Al disminuir la concentración de los agentes se observa un aumento visible del tamaño del cristal, en forma normal a la superficie, ocasionando que las capas no lleguen a unirse completamente y que queden sin cubrir áreas del metal base.

Un procedimiento sencillo de control de los baños de estaño es la prueba de poder cubriente, la cual se puede efectuar en una celda pequeña, donde se usa una muestra del baño, usando un ánodo de estaño y un cátodo de cobre de 12 x 7.5 cm., que se limpia por inmersión en ácido nítrico. El cátodo así obtenido se electrodeposita durante 12 minutos a una densidad de corriente de 0.4 amp/dm^2 , para producir una capa de 0.00127 cm. Si la composición del baño es adecuada la placa de cobre se cubrirá completamente, pero si se observan superficies sin cubrir, a simple vista o con una lente de bajo aumento, entonces el baño necesita agentes de adición. Estos serán agregados hasta que la prueba aquí descrita produzca resultados satisfactorios.

Debido a que la gelatina se está codepositando con el esta-

lo, se debe agregar al baño electrolítico con mas frecuencia que el beta-naftol, siendo recomendable agregar primero la gelatina, ya que el beta-naftol es prácticamente insoluble en la solución, a menos que ésta contenga un coloides protector, como lo es la gelatina.

Para propósitos de control es suficiente estimar el contenido de ácido libre, presente en el baño y cuando su contenido esté fuera del límite de operación se deberá agregar en la misma proporción que se tenía originalmente, esto es, cuatro partes de ácido fenolsulfónico por cada cinco partes de ácido sulfúrico.

Actualmente los investigadores han desarrollado métodos para depositar estaño electrolíticamente que no requieren abrillanado posterior, pero el alto costo y exagerado cuidado en su mantenimiento los hacen incosteables para ser tomados en cuenta en el estudio que se pretende hacer en esta tesis.

El material recubierto puede ser calentado por inducción, conducción o radiación para fundir el depósito, pero el método mas común, para partes recubiertas, es introducir las en un baño de aceite caliente por un corto periodo de tiempo.

Baño electrolítico que contiene ácido fluobórico

Los baños electrolíticos que contienen ácido fluobórico, que producen mejores resultados, tienen en promedio la siguiente composición:

| <u>Material</u> | <u>Composición en g/l</u> |
|---------------------|---------------------------|
| Fluoborato estánico | 200 |
| Estaño metálico | 30 |
| Acido fluobórico | 100 |
| gelatina | 6 |

Beta-naftol

1

La alta solubilidad del fluoborato estanoico hace posible la formulación y el uso de baños con muy alto contenido de estaño, factor que es decisivo cuando se requiere el empleo de altas densidades de corriente y se puede operar desde temperatura ambiente hasta temperaturas ligeramente superiores a ésta..

El grano cristalino del depósito es fino, terso y de color blanco, ofreciendo además excelentes propiedades soldables.

Las eficiencias anódica y catódica son de 100%, razón por la cual es insuperable el aprovechamiento económico del electrolito.

Las condiciones normalmente establecidas para este tipo de solución son las siguientes:

| | |
|--|-------------------------------|
| Temperatura | 20-50°C |
| Densidad de corriente catódica sin agitación: | . |
| Valor límite a 20°C | 25 amp/dm ² |
| Valor límite a 50°C | 42 amp/dm ² |
| Densidad de corriente para operación práctica: | 2.5- 12.5 amp/dm ² |
| Voltaje promedio: | 1-3 Volts. |

Con la agitación mecánica en el baño se puede operar a densidades de corriente mas elevadas, pero hay que tener en cuenta que en los baños con ácido fluobórico no se debe utilizar agitación por aire.

Los ánodos empleados deben ser de estaño de 99.99% de pureza, teniendo una relación de "área anódica" a "área catódica" de 2:1. En estas condiciones el poder de penetración del baño es excelente.

Baño Electrolítico Alcalino

Los primeros baños utilizados fueron de tipo alcalino, que independientemente de las sustancias de partida, se transformaban con el tiempo en un electrolito que contenía estanita, por lo que su aplicación no siempre se desarrolló con buen éxito.

Después de muchas investigaciones se observó que el buen éxito de la operación de los baños alcalinos depende fundamentalmente del control de las reacciones anódicas, por lo que, los baños con estanato han reemplazado en gran parte a los baños con estanita, debido a que han mostrado una mayor versatilidad y presentan además las siguientes ventajas:

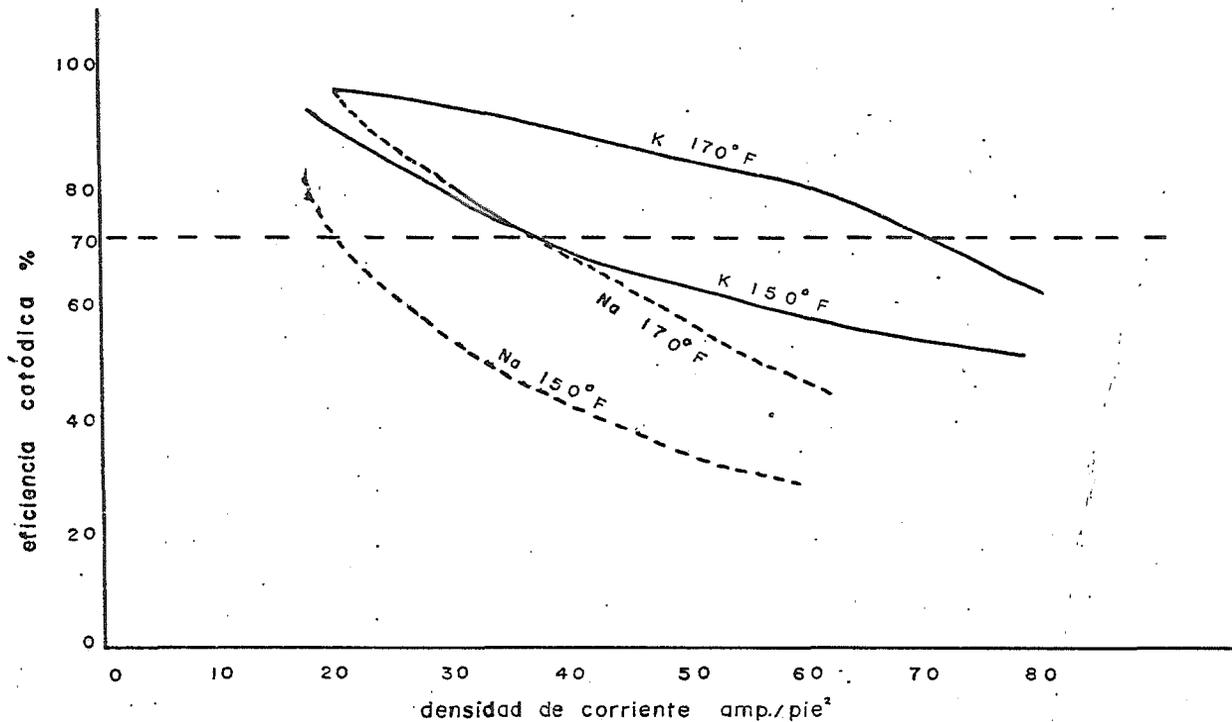
- a) Formulación sencilla: El hecho de que solo tienen dos ingredientes esenciales; el estanato alcalino y el hidróxido alcalino correspondiente.
- b) Facilidad de control: Si solo tienen dos componentes, es suficiente determinar el álcali libre y el contenido de estaño, lo cual se puede efectuar mediante un análisis químico sencillo.
- c) Uso de equipo de acero: La alcalinidad de las soluciones y el hecho de que se operan a altas temperaturas, sugieren construir el equipo con acero simple, sin que haya peligro de corrosión, mientras el otro tipo de baño requiere una protección resistente al ácido.
- d) Buenas propiedades detergentes: Puede hacerse menos crítico el tratamiento de limpieza, previo al electrodeposición, aunque no puede, ni debe ser eliminada esa operación.
- e) Amplios límites de operación: Aún cuando es conveniente el control de los componentes del baño, es interesante señalar que estos pueden variar dentro de amplios límites, sin afectar sus cualidades de depósito.

- f) Excelente poder de penetración: El poder de penetración de los baños de estanato es excelente, lo que hace posible electrodepositar piezas con formas muy complejas.

Los baños electrolíticos alcalinos para estañado, se componen únicamente de estanato de sodio o de potasio y el hidróxido correspondiente. De los dos, el de estanato de potasio es el más versátil, por las razones que a continuación se exponen:

hasta aquí

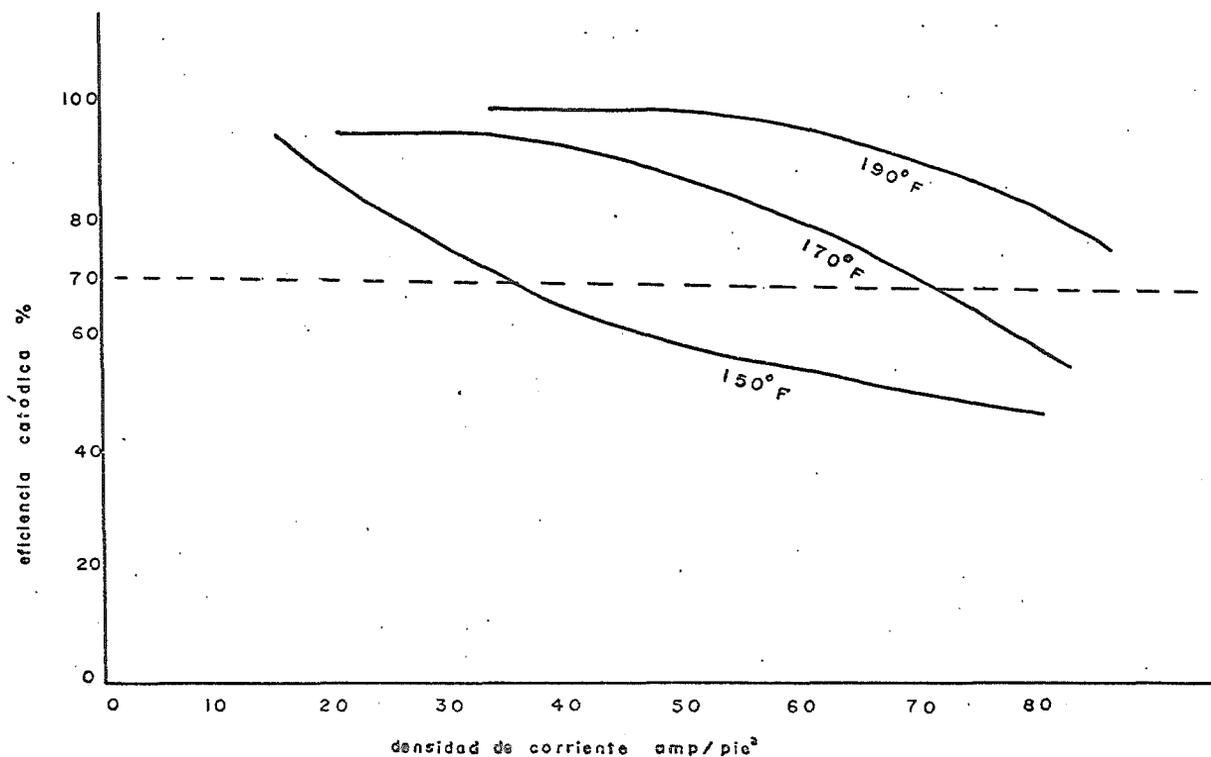
- a) Alta eficiencia catódica a densidades de corriente elevadas: Mientras que la máxima densidad de corriente práctica para los baños de estanato de sodio es de 4 amp/dm^2 , el electrolito con estanato de potasio puede trabajar perfectamente a densidades de corriente de 25 y hasta de 30 amp/dm^2 . Este comportamiento se puede ver en las gráficas núms. 1, 2, 3 y 4.
- b) Mayor solubilidad del estanato de potasio con respecto al estanato de sodio: Esto es verdad tanto en soluciones acuosas, como alcalinas. Además la solubilidad del estanato de potasio aumenta con la temperatura; mientras que la del estanato de sodio disminuye, según se puede observar en las gráficas 5 y 6.
- c) Mayor estabilidad del estanato de potasio con respecto al de sodio: Todas las sales de estaño tienden a hidrolizarse, dando precipitados insolubles, pero esta tendencia es mucho menor en el estanato de potasio. Se ha visto que si se preparan dos soluciones de igual concentración de estanato de sodio y de potasio y se mantienen a la misma temperatura durante dos semanas, la de sodio presenta siete veces más formación de precipitados que la de potasio.
- d) Mayor conductibilidad eléctrica del estanato de potasio que la del sodio: La alta conductibilidad eléctrica del estanato de potasio permite la aplicación de menores voltajes de operación para una densidad de corriente dada.



— — — — — eficiencia práctica mínima

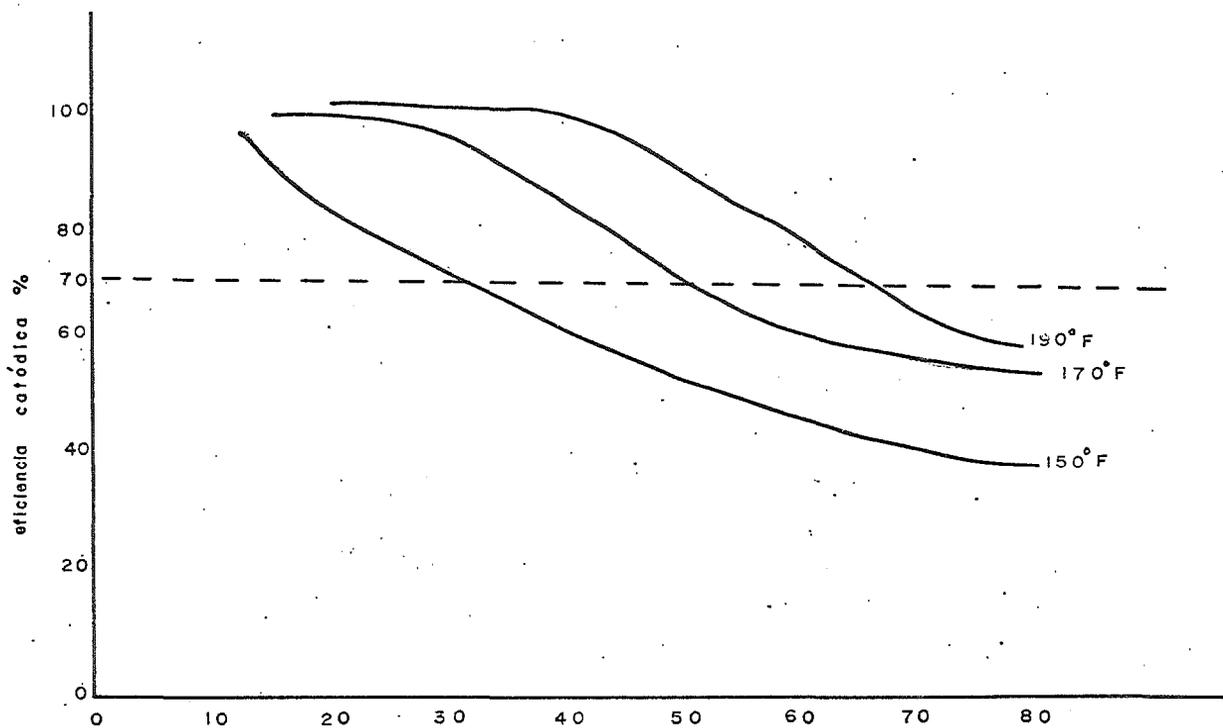
EFICIENCIA CATODICA CONTRA DENSIDAD PARA
BAÑOS NORMALES DE SODIO Y POTASIO I

GRAFICA NUM. I



----- eficiencia práctica mínima
EFICIENCIA CATODICA DE BAÑO DE POTASIO I A
150, 170 y 190°F

GRAFICA NUM. 2

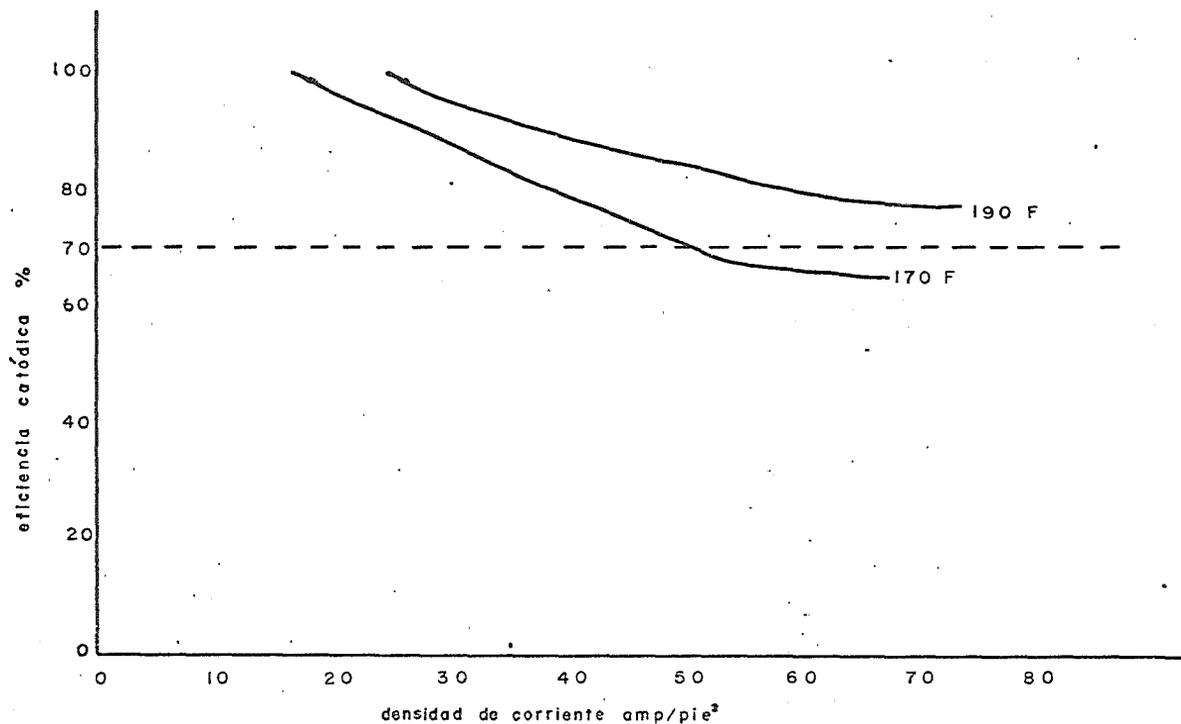


----- eficiencia práctica mínima

EFICIENCIA CATODICA DE BAÑO DE POTASIO II

A 150, 170 y 190°F

GRAFICA NUM. 3

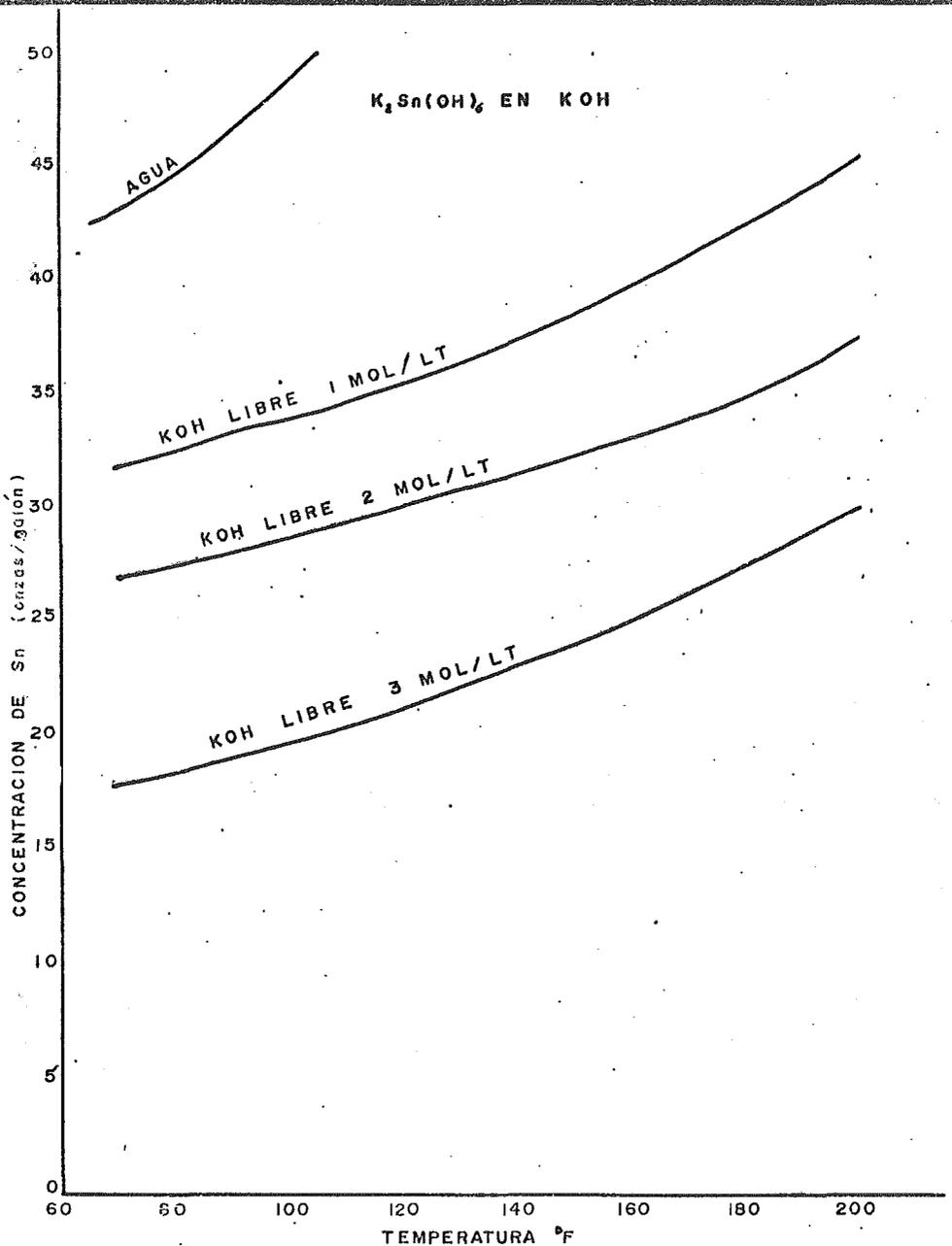


----- eficiencia práctica mínima

EFICIENCIA CATODICA DE BAÑO DE POTASIO III

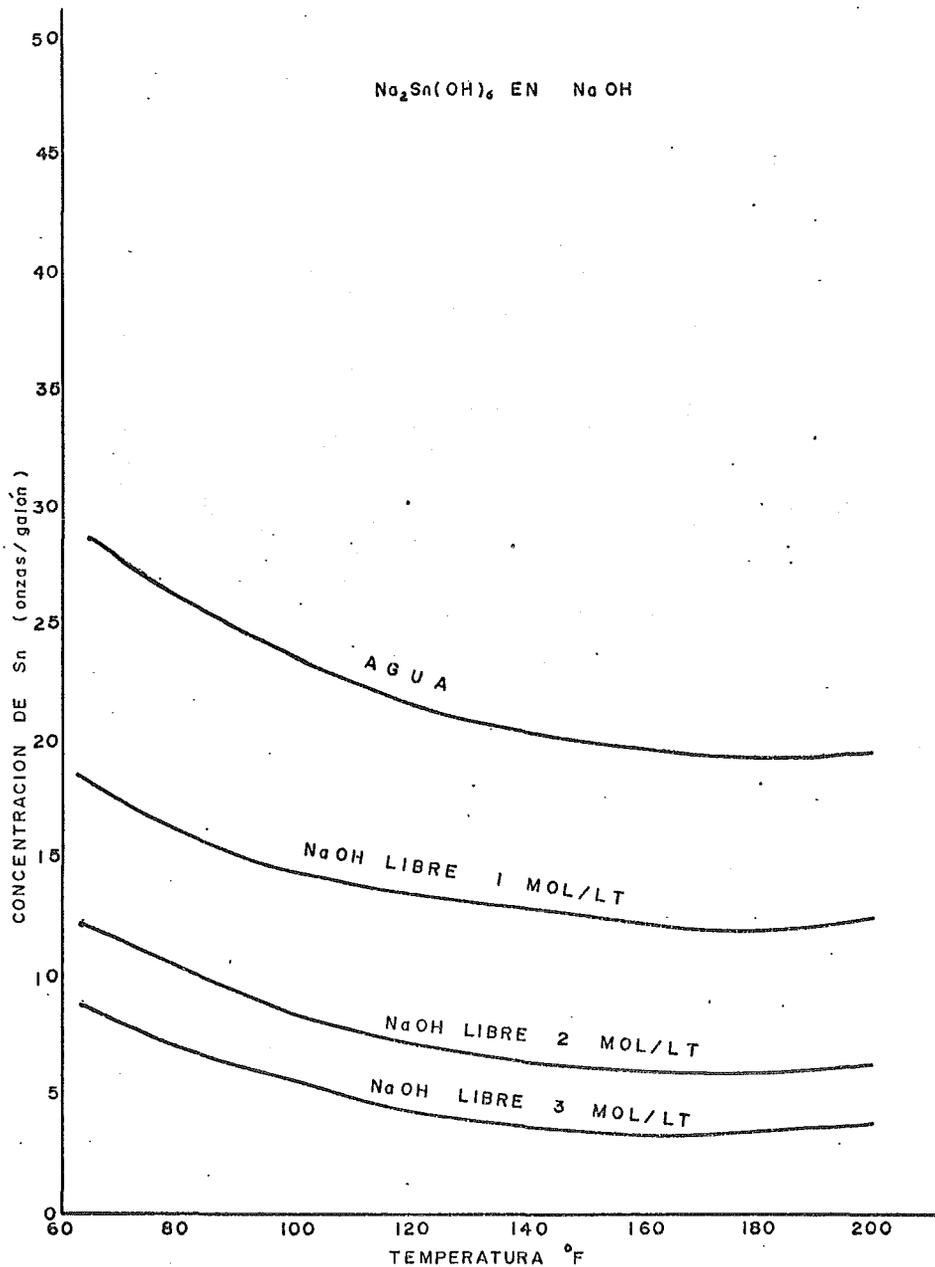
A 170,190 F

GRAFICA NUM. 4



SOLUBILIDAD DE ESTANATO DE POTASIO EN AGUA
Y SOLUCIONES ALCALINAS

GRAFICA NUM. 5



SOLUBILIDAD DE ESTANATO DE SODIO EN AGUA
Y SOLUCIONES ALCALINAS-

GRAFICA NUM. 6

Exceptuando los factores anteriores, los depósitos que se obtienen con ambas sales son bastante semejantes.

Formulaciones comunes de los baños de estanato son como sigue:

Estanato de sodio

| <u>Material</u> | <u>Composición</u> (g/l) |
|--------------------------|-----------------------------|
| Estanato de sodio | 105.0 |
| Estañó metálico | 46.8 |
| Hidróxido de sodio libre | 9.4 |

Esta solución opera entre 0.3 y 0.6 amp/dm² de densidad de corriente y a 60-82°C de temperatura.

Los baños de estanato de potasio pueden trabajar a tres composiciones a saber:

Composición I

| <u>Material</u> | <u>Composición</u> (g/l) |
|----------------------------|-----------------------------|
| Estanato de potasio | 105.0 |
| Estañó metálico | 42.0 |
| Hidróxido de potasio libre | 15.0 |

Este baño opera con densidades de corriente de 3 a 10 amp/dm², entre los límites de temperatura de 66 a 88°C.

Composición II

| <u>Material</u> | <u>Composición</u> (g/l) |
|-----------------|-----------------------------|
|-----------------|-----------------------------|

| | |
|----------------------------|-------|
| Estanato de potasio | 210.0 |
| Estaño metálico | 35.6 |
| Hidróxido de potasio libre | 22.5 |

Este baño puede operarse hasta con 16 amp/dm², entre los límites de temperatura de 77 a 88°C.

Composición III

| | |
|----------------------------|----------------------|
| Material | Composición (g/l) |
| Estanato de potasio | 420.0 |
| Estaño metálico | 167.2 |
| Hidróxido de potasio libre | 22.5 |

Este baño se puede operar con densidades de corriente hasta de 40 amp/dm², entre los límites de temperatura de 77 a 88°C.

Para seleccionar la composición y condiciones de operación, adecuadas para electrodepositar el estaño, es necesario tomar en cuenta la forma en que afectan los incrementos de temperatura, hidróxido libre, estanato y densidades de corriente; a la eficiencia catódica, eficiencia anódica, límites de electrodepósito y conductibilidad. Para simplificarlas se resumen estas relaciones en la siguiente tabla:

| Incremento | Eficiencia Catódica | Eficiencia Anódica | Límites de elec- trodepósito | Conductivi- dad |
|----------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Temperatura | Aumenta | Aumenta | Aumenta | Aumenta |
| Alcali libre | Disminuye | Aumenta | — | Aumenta |
| Estaño (Estanato) | Aumenta | Efecto des- preciable | Aumenta | Disminuye |

Densidad - Disminuye Disminuye
de corrien
te

La experimentación en la operación de los baños alcalinos - llevada a cabo ha permitido determinar que las relaciones óptimas de superficie anódica a superficie catódica deben mantenerse en la siguiente forma:

Baños de estanato de sodio 1:1

Baños de estanato de potasio 2:1

Después de haber descrito y analizado brevemente los diferentes métodos existentes de estañado, se tienen elementos de juicio para seleccionar como el método mas práctico, para el estañado de molinos de semillas para uso doméstico, el electrolítico con baño de estanato de sodio, debido a que las sales empleadas son mas baratas, requiere menor cantidad de ánodos de estaño, con lo que se reduce la inversión fija y se abarata el costo de operación, cumpliendo con una de las finalidades que se persiguen.

III. PROCESO DE ABRIELLANTADO DE LOS DEPOSITOS DE ESTAÑO

Como se mencionó al hacer la descripción de los baños electrolíticos alcalinos, los depósitos que se obtienen son de aspecto opaco, por lo que se hace necesario un proceso final de abrillantado.

Ha sido numeroso el grupo de investigadores que han estudiado la forma de abrillantar electrodepósitos de estaño, pero hasta ahora el único método para obtener cubiertas brillantes de este tipo, ha sido el de fusión momentánea del estaño después de haber salido del baño electrolítico. Este procedimiento provee cubiertas satisfactorias, aunque obliga al empleo de una operación adicional en el proceso.

Los depósitos brillantes de estaño son algo mas duros que las cubiertas normales de mismo metal, pero son suficientemente dúctiles para soportar el impacto y la deformación moderada sin daño.

La ventaja principal de los depósitos brillantes es su presentación, su porosidad es inferior a otros tipos de depósitos y sus propiedades de soldabilidad y de protección a la corrosión son excelentes.

Es explicable la ventaja del método de "fusión momentánea" para obtener cubiertas satisfactoriamente brillantes, si se recurre a la cristalografía del estaño, la que nos dice que el estaño presenta tres formas alotrópicas, cuyas relaciones son las siguientes:

| | | |
|--------|---|--------------------------|
| GRIS | ↔ | BLANCO (TETRAGONAL) 13°C |
| BLANCO | ↔ | ROMBICO 170°C |

Se observa que la estructura gris es amorfa, la cual se cree sea la que se obtenga de los depósitos electrolíticos, por las características con que éstos se llevan a cabo; entonces, aunque el cambio de gris a blanco puede efectuarse a 18°C, se debe aplicar una cantidad de energía para efectuar ese cambio y además llegar al estado líquido, para que el cambio de estructura cristalina se efectúe rápidamente (En el estado líquido los iones tienen mas libertad de movimiento que en el estado sólido), Una vez líquido el estaño, se recomienda enfriarlo rápidamente, para evitar que sus iones adopten la estructura rómbica.

Después del paréntesis anterior, netamente teórico, se tratará de efectuar ese cambio de estructura cristalina buscando las condiciones prácticas adecuadas.

El material recubierto puede ser calentado por inducción, conducción o radiación para fundir la cubierta, pero el método mas común y además el mas barato es introducir las piezas en aceites vegetales o grasas animales. Comercialmente se cuenta con un gran número de aceites que pueden dar buen resultado.

Cuando las superficies electroestañadas van a ser fundidas, se debe tener cuidado especial en la preparación del metal base, a fin de que todas las huellas de contaminación sean eliminadas.

El tipo de aceite o grasa elegida deberá tener temperaturas de fusión abajo de 65°C y puntos de inflamación superiores a 260°C.

El aceite del baño se recomienda se conserve a una temperatura entre 245 y 255°C. Es deseable calentar las piezas tan rápidamente como sea posible hasta la temperatura donde el estaño fluye y conservarlas dentro del baño un mínimo de tiempo, el cual varía de acuerdo al tamaño de las piezas, de 30 a 60 segundos.

La capa de estaño sobre partes que quedan en el aceite demasiado tiempo, después de que la capa funde, tiende a no mojar, - causando una apariencia poco satisfactoria.

La efectividad del aceite del baño de abrillantado disminuye con el tiempo de uso, el ácido graso libre, calculado como o- léico, aumenta; cuando el contenido de ácido sube hasta 9%, el - color del estaño puede azularse. En este caso se recomienda subs- tituir parte del aceite graso del baño por material nuevo.

Tan pronto como el estaño ha flúido, las piezas (que pue- den estar colocadas en ganchos, alambres o canastillas) son saca- das del baño de abrillantado y desengrasadas, por inmersión en - una solución de carbonato de sodio y sosa cáustica, con 4 g/l de cada uno de estos solutos, lo que elimina el exceso de ácidos -- grasos por formación de jabones solubles. Si la concentración de álcali disminuye, la capa de estaño presenta un color azulado, - que contrasta con la coloración amarillenta, obtenida con la so- lución de la concentración indicada. Finalmente, se aplica un en- juagado con agua simple, que simultáneamente sirve para terminar de enfriar las piezas.

Para que el abrillantado sea correcto, las capas de estaño electrodepositadas deberán tener un espesor mínimo de 0.000254 - cm., siendo lo mas recomendable obtenerlas de 0.000762 cm., aún cuando para piezas fundidas los espesores requeridos son un poco mayores, para asegurar un acabado terso.

Las dificultades comunes en el proceso de abrillantado se - pueden resumir en la siguiente forma:

- a) Si se obtiene una capa brillante y continua, pero con -- grumos, esto indica que el espesor del estaño electrode- positado fue demasiado grueso, o bien que las piezas fue- ron mantenidas durante mucho tiempo en el baño de abri--

llantado.

- b) Si la capa de estaño tiene aspecto de escarcha, particularmente en los bajos relieves, pero continúa, indica que la capa de estaño fue demasiado delgada y ésto es mas notable en las áreas que se cubren lentamente durante el proceso electrolítico, tal y como sucede en los bajos relieves.
- c) Si el acabado no es uniforme y hay zonas en las que aparece el metal base; se puede concluir que la preparación y limpieza de las piezas, antes del electrodepósito, no fueron adecuadas, situación que es muy común sobre piezas de acero o fierro, especialmente con aquellos tipos que tienden a producir demasiada suciedad, cuando las piezas son decapadas en exceso. En situaciones difíciles esto se puede remediar, si las piezas reciben previamente un electrodepósito de cobre o bronce antes de depositar el estaño.

IV. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

Con el objeto de ubicar la operación de abrillantado, dentro del proceso de fabricación de los molinos de semillas para uso doméstico, se describe con detalle el proceso de manufactura de estos equipos.

Las etapas mas importantes del proceso son las siguientes:

- 1) Fabricación de los componentes de los molinos
- 2) Desbastado
- 3) Desengrasado, con tricloroetileno en fase vapor
- 4) Desengrasado, por inmersión en baño alcalino
- 5) Lavado con agua caliente y fría
- 6) Activación por inmersión en ácido clorhídrico
- 7) Lavado por inmersión en agua fría
- 8) Cobrizado electrolítico en baño cianurado
- 9) Lavado con agua fría en dos etapas .
- 10) Estañado electrolítico en baño de estanato alcalino
- 11) Lavado por inmersión en agua caliente en dos etapas
- 12) Secado a temperatura ambiente
- 13) Abrillantado por inmersión en ácidos grasos .
- 14) Desengrasado por inmersión en baño alcalino
- 15) Lavado y enfriamiento por inmersión en agua caliente
- 16) Secado a temperatura ambiente
- 17) Clasificación y almacenamiento de las piezas terminadas
- 18) Ensamble de las piezas para obtener las piezas completas

- 1) Fabricación de los componentes de los molinos

Las diferentes piezas que forman los molinos en cuestión, se obtienen básicamente mediante tres operaciones diferentes: -- Fundición, maquinado y troquelado; operaciones que por ser ampliamente conocidas no serán tratadas en este trabajo. Los diferentes componentes de un molino tipo se pueden apreciar en la figura núm. 1. ←

2) Desbastado

Las piezas obtenidas mediante las operaciones arriba indicadas se limpian con arena en tambores giratorios, produciendo un efecto de abrasión, que desprende las partículas de óxido presentes en la superficie de las piezas.

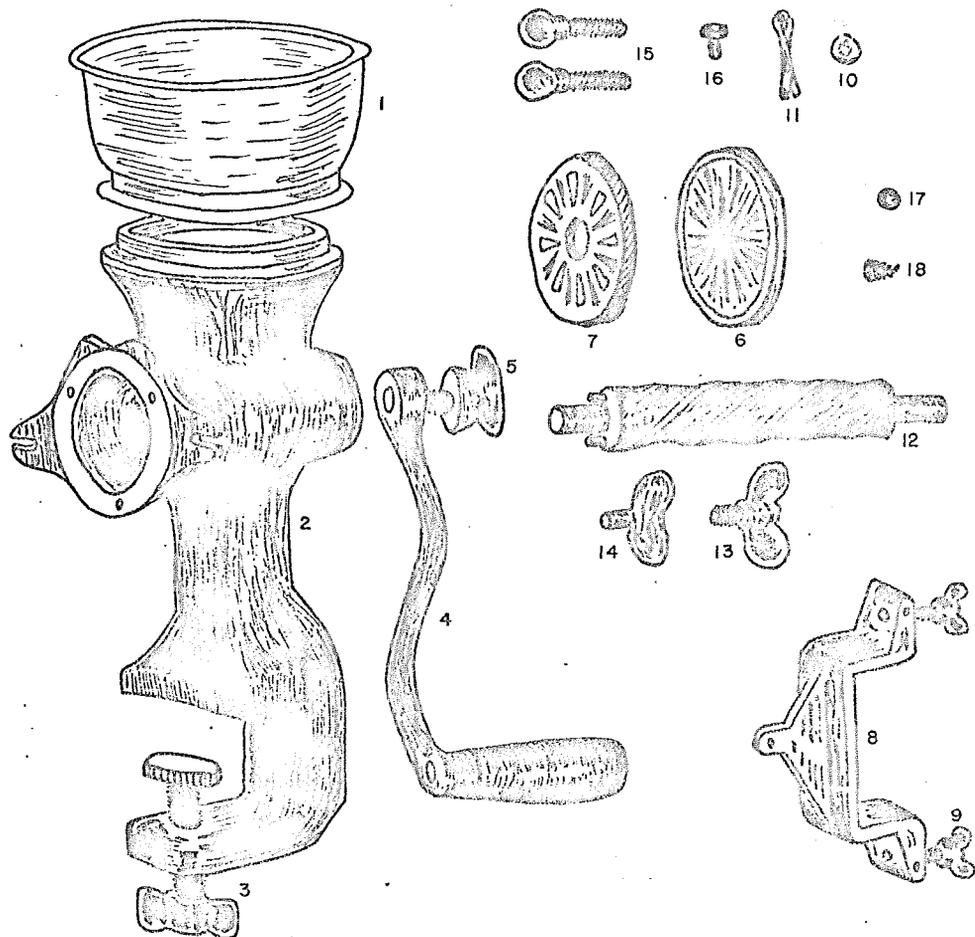
Esta operación deberá realizarse en un cuarto cerrado, suministrando al operador mascarillas de seguridad para purificar el aire que respira y gafas de seguridad que eviten la entrada de polvo de arena al organismo, que a la larga produce la enfermedad profesional llamada silicosis.

3) Desengrasado, con tricloroetileno en fase vapor

Todas las superficies de piezas metálicas contienen residuos de materiales grasos, que pueden provenir de grasas o aceites de pulido, maquinado o troquelado o bien que hayan sido agregados para evitar la oxidación durante su almacenamiento y en forma accidental pueden ser adicionados por las manos y ropa de los trabajadores.

Las grasas y aceites de origen mineral, o bien de origen orgánico, deben ser eliminados para obtener electrodepósitos con adherencia de alta calidad.

Las grasas y aceites provenientes del petróleo no son sapo-



- 1. TOLVA
- 2. CUERPO
- 3. TORNILLO DE GRAPA
- 4. MANUBRIO
- 5. TORNILLO DEL MANUBRIO
- 6. MUELA FIJA
- 7. MUELA GIRATORIA
- 8. BASTIDOR
- 9. MARIPOSAS DEL BASTIDOR

- 10. ARANDELA
- 11. CHAVETA
- 12. ALIMENTADOR
- 13. MARIPOSA DE RETENCION
- 14. TORNILLO AJUSTADOR
- 15. TORNILLO BASTIDOR
- 16. REMACHE
- 17. BALIN
- 18. RESORTE DEL BALIN

FACULTAD
DE
QUIMICA
1973

TESIS PROFESIONAL

MOLINO DOMESTICO

FIGURA NO. I

E. F. JAIMES B.

nificables como las grasas de tipo orgánico, por lo que su eliminación se efectúa mediante el lavado con solventes orgánicos, tales como la gasolina, benceno o tricloroetileno, entre otros. Estos solventes se pueden usar tanto en la fase líquida como en la de vapor, siendo la mas recomendable esta última.

En este caso los artículos por desengrasar son suspendidos durante un minuto aproximadamente en los vapores del solvente, - el cual se encuentra en ebullición. los vapores del solvente condensan sobre las piezas que se encuentran a una temperatura inferior, disolviendo los materiales grasos. El solvente condensado regresa al recipiente, donde se mezcla con el solvente en ebullición. Los vapores del solvente repiten el proceso en forma continúa, de tal forma que la operación de desengrasado se realiza en un mínimo de tiempo.

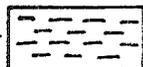
El solvente deberá producir vapores pesados para minimizar las pérdidas por evaporación y además tener un bajo calor latente de vaporización para asegurar su condensación rápida.

El tricloroetileno reúne las características antes mencionadas, por lo que su uso está ampliamente difundido. En la figura núm. 2 se ilustra la operación de desengrasado, utilizando este solvente.

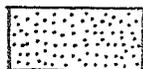
4) Desengrasado, por inmersión en baño alcalino

Las grasas orgánicas saponificables que pudieran haber quedado en las piezas, se eliminan aprovechando la propiedad que -- tienen de formar jabones. Por ejemplo la estearina es saponificable y está constituida por un éster o sal orgánica, cuyo nombre es el estearato de glicerina, el cual proviene de la reacción de la glicerina y el ácido esteárico.

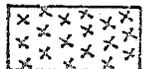
Cuando la estearina reacciona con un álcali se saponifica -



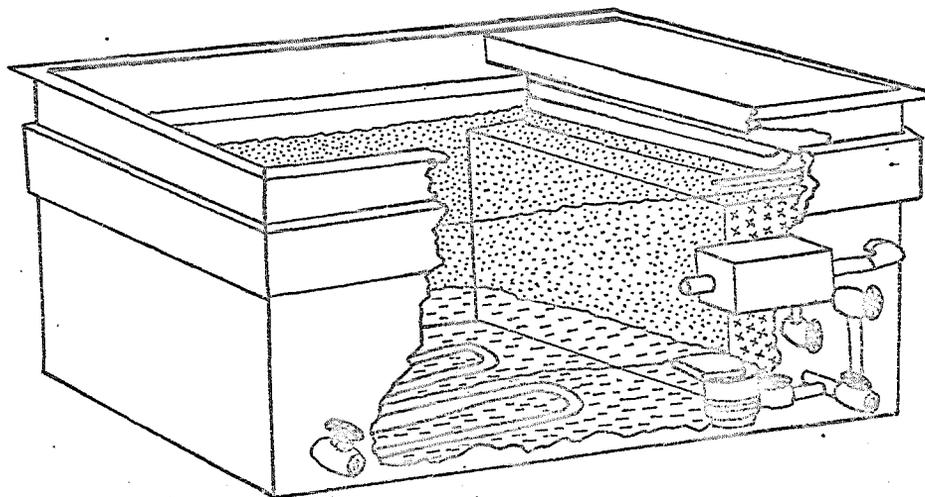
SOLVENTE
HIRVIENDO



VAPOR



SECCION DE ASPER-
SION Y ALMACEN



FACULTAD
DE
QUIMICA
1973

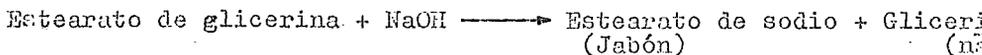
T E S I S P R O F E S I O N A L

EQUIPO DE DESENGRASE EN FASE VAPOR

FIGURA NO. 2

E. F. JAIMES B.

liberando glicerina, de acuerdo con la siguiente reacción:



Reacciones semejantes ocurren entre los álcalis y otras grasas comunes, tales como los derivados del ácido oléico y palmítico.

El resultado de la saponificación es la formación del jabón, que es soluble en agua, por lo que puede eliminarse de la superficie que se está desengrasando; mientras que la estearina es insoluble, por lo que no puede ser eliminada a menos que se transforme en jabón.

La operación de desengrasado consiste en la inmersión de las piezas, durante dos minutos aproximadamente, en una solución que contiene 75 g/l de hidróxido de sodio y que se mantiene a una temperatura de 80-85°C.

5) Lava do con agua caliente y fría

El lavado cumple la función de eliminar totalmente la solución alcalina, el jabón y la glicerina producidos en la reacción, dejando una superficie casi lista para recibir el estaño. La duración del lavado es de 15 segundos.

6) Activado por inmersión en ácido clorhídrico diluido

Durante las operaciones anteriores pudo haberse formado una película de óxido muy delgada sobre las piezas, la cual es necesario eliminar, por esta razón se sumergen durante 30 segundos en una solución preparada con ácido clorhídrico, al 10-15% en volumen de concentración, trabajando a temperatura ambiente. Esta operación se conoce como activación y se lleva a cabo en tanques

de acero protegidos interiormente con cloruro de polivinilo para evitar la corrosión.

7) Lavado por inmersión en agua fría

Con el objeto de eliminar las huellas de ácido clorhídrico - que pudieran llevar las piezas, de la operación anterior, éstas - se introducen durante 15 segundos en agua; porque de no ser así - pudiera haber formación de ácido cianhídrico, al reaccionar el -- cianuro de sodio de la tina de cobrizado alcalino con el ácido, - lo cual es sumamente peligroso para la seguridad de los operado-- res.

8) Cobrizado alcalino en baño cianurado

Las piezas de acero pueden ser estañadas directamente, pero los depósitos de estaño tienen mejor presentación cuando existe - una capa intermedia de cobre de aproximadamente 0.0002 pulg. ---- (0.000508 cm) entre el acero y el estaño.

Debido a que el cobre es un metal mas noble que el fierro, - entonces solo puede ser depositado por electrólisis de soluciones de cianuro doble de cobre y sodio, ya que si se usara una solu-- ción ácida de cobre, éste sería desplazado de sus soluciones por las piezas de fierro, dando un depósito pulverulento y poco adhe-- rente, que no cumpliría con las necesidades para las que se requie-- re usar el depósito de cobre.

Una formulación adecuada para efectuar el cobrizado tiene la siguiente composición:

| <u>Material</u> | <u>Concentración</u> (g/l) |
|------------------|-------------------------------|
| Cianuro de cobre | 45.0-57.5 |

| | |
|--|--|
| Cianuro de sodio | 56.2-75.0 |
| Hidróxido de sodio | 7.5-15.0 |
| Temperatura de operación | 60-70°C |
| Densidad de corriente | 2-6 amp/dm ² |
| Eficiencia catódica | 40-70% |
| Eficiencia anódica | 50-70% |
| Area anódica | Dos veces el área catódica |
| Tiempo de electrodeposición para 0.000254 cm. a 60°C: | Para 2.15 amp/dm ² : 3.6 min. Para 6.45 amp/dm ² : 2.2 min. |

↑ NO.

↓ En operación normal, el baño de cobrizado recibe iones hierro, por lo que es necesario agregar pequeñas cantidades de hidrosulfito de sodio, para contrarrestar el efecto que el hierro iónico produce en el depósito de cobre y obtener una película brillante y de grano fino. Las cantidades de hidrosulfito que se agregan son del orden de 0.5 g/l, cada vez que el aspecto del depósito de cobre sea obscuro y áspero.

9) Lavado por inmersión en agua fría en dos etapas

Esta operación tiene por objeto eliminar la solución de cianuro adherida a la superficie de las piezas, esto se logra introduciéndolas en agua fría común contenida en dos tanques, durante 1.5 segundos aproximadamente en cada uno.

10) Estañado electrolítico en baño de estanato alcalino

Esta operación se realiza bajo las especificaciones descritas anteriormente, tiene una duración de 20 minutos y proporciona espesores de aproximadamente 0.000762 cm.

11) Lavado por inmersión en agua caliente en dos etapas

Las piezas al salir de las tinas de estañado arrastran con ellas una gran cantidad de la solución alcalina, lo que involucra grandes pérdidas de sales de estaño; además de que produce mala calidad en el depósito, siendo necesario eliminar los restos del electrolito, recuperando a la vez los materiales arrastrados, por lo que las dos tinas sucesivas de lavado resuelven los problemas en forma satisfactoria, efectuando durante 15 segundos la inmersión en cada tanque. El agua de los tanques se calienta por medio de vapor de agua, utilizando serpentines de acero.

Como la solución de estañado se trabaja a temperaturas entre 70 y 80°C de temperatura, hay grandes pérdidas de agua por evaporación, utilizando el agua de lavado para reestablecer esas pérdidas.

12) Secado a temperatura ambiente

Las piezas estañadas al salir de las tinas de lavado eliminan la humedad residual por evaporación, ya que la película de agua que rodea la pieza está caliente y al ponerse en contacto con el aire se produce la evaporación.

13) Abrillantado por inmersión en ácidos grasos

Esta operación fue descrita en detalle en el capítulo anterior.

14) Desengrasado, por inmersión en baño alcalino

La forma de efectuar esta operación también fue descrita en el capítulo anterior.

15) Lavado y enfriamiento por inmersión en agua caliente

Esta operación tiene por objeto eliminar la solución alcalina desengrasante que impregna las piezas y enfriarlas lo suficiente para poder manejarlas sin ningún peligro.

16) Secado a temperatura ambiente

Después de la operación anterior, los residuos de agua que le hayan quedado son eliminados por evaporación, quedando listas las piezas para mandarse al almacén de productos terminados.

17) Clasificación y almacenamiento de las piezas terminadas

Las piezas tienen que ser almacenadas, previa clasificación, para finalmente ser distribuidas a las líneas de ensamble.

18) Ensamble de las piezas para obtener las unidades completas

En la línea de ensamble se van armando los diferentes componentes para obtener los molinos completos, que finalmente se empaquetan y se envían al almacén de productos terminados para su distribución y venta.

V. DISEÑO DEL EQUIPO

Como ya se mencionó anteriormente el proceso de abrillantado consta de tres operaciones básicas: Abrillantado, desengrasado y lavado.

El cumplimiento de los objetivos que se persiguen con este proceso, depende primordialmente de la primera operación, por lo que en ésta se concentrará el diseño del equipo.

1. Diseño del equipo para abrillantado del estado electro-lítico

Con el fin de recopilar datos para efectuar el diseño, es conveniente seleccionar el material que se va a usar como medio para abrillantar. Las substancias disponibles en México son el aceite de palma y el sebo de res; de los cuales se establecen las siguientes comparaciones:

- a) Precio: El aceite de palma tiene un costo de 5.50 \$/Kg, mientras que la misma unidad de sebo de res tiene un valor de 6.50 \$/Kg.
- b) Calidad: La pureza del aceite de palma es superior; el sebo de res tiene la desventaja de desprender humos a temperaturas bajas, pues su composición depende de la parte del cuerpo del animal de que provenga.
- c) Composición: El aceite de palma contiene antioxidantes naturales y su grado de insaturación es relativamente bajo, en consecuencia su resistencia a la oxidación es excelente.

Los puntos descritos anteriormente nos llevan a seleccionar el aceite de palma, como el mas adecuado. Sus propiedades físi-

cas básicas para los fines que se persiguen, se describen a continuación:

| | |
|---|-------------------------|
| Punto de fusión: | 37-45°C |
| Punto de inflamación: | 277°C |
| Punto de ignición: | 316-343°C |
| Calor específico en el rango de 20 a 40°C: | 0.430 cal/g/°C |
| Calor latente de fusión: | 39.2 cal/g |
| Calor específico en el rango de 40 a 255°C: | 0.700 cal/g/°C |
| Densidad a 255°C: | 0.760 g/cm ³ |

A. Dimensiones de la tina de abrillantado

Para obtener las dimensiones convenientes de este equipo, se considera una unidad a las piezas del molino, que por sus características pueden introducirse a la vez en el aceite, sin afectar la calidad del proceso, con lo cual se obtienen siete lotes de piezas, que son los siguientes:

- a) Cuerpos
- b) Alimentadores
- c) Bastidores
- d) Tolvas
- e) Manubrios
- f) Muelas fijas y giratorias
- g) Mariposas, tornillos y remaches del bastidor, mariposas de retención, tornillos ajustadores, tornillos de manubrios, tornillos de grapa, balines, resortes, arandelas y

chavetas.

Todas estas piezas se ilustran gráficamente en la figura ---
núm. 1.

De los lotes arriba mencionados, el que ocupa mayor volumen es el que contiene el cuerpo del molino, el cual por sus características será tomado como base de cálculo.

Las dimensiones del cuerpo del molino son 12x12x30 cm y se va a introducir en posición vertical, por lo que el área ocupada horizontalmente es 0.0144 m^2 . Para conocer el número de lotes que se van a introducir simultáneamente, se consideran los siguientes factores:

- a) Se va a utilizar un polipasto durante todo el proceso de abrillantado: Inmersión en el aceite, desengrasado y lavado. El tiempo de duración de este ciclo se estima en 6.7 minutos.
- b) Se van a producir 10,000 molinos mensuales.
- c) El año tiene 300 días hábiles y una eficiencia de trabajo de 80%.
- d) Se va a trabajar un turno por día.

Basándose en los puntos anteriores, se pueden hacer los siguientes cálculos:

$$\text{Tiempo disponible} = 300 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 1 \frac{\text{turno}}{\text{día}} \times 8 \frac{\text{horas}}{\text{turno}} \times 0.80$$

$$\text{Tiempo disponible} = 1920 \frac{\text{hrs}}{\text{año}} \text{ (100\% productibles)}$$

$$\text{Mercado} = 10,000 \frac{\text{molinos}}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}}$$

$$\text{Mercado} = 120,000 \frac{\text{molinos}}{\text{año}}$$

$$\text{Capacidad} = \frac{120,000 \text{ molinos/año}}{1,920 \text{ hrs/año}} \times 7 \frac{\text{lotes}}{\text{molino}} \times 6.7 \frac{\text{min.}}{\text{ciclo}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}}$$

$$\text{Capacidad} = 49 \frac{\text{lotes}}{\text{ciclo}}$$

0.0144 m² es el área del lote base, por tanto el área total es:

$$A = 0.0144 \frac{\text{m}^2}{\text{lote}} \times 49 \frac{\text{lotes}}{\text{ciclo}}$$

$$A = 0.7056 \frac{\text{m}^2}{\text{ciclo}}$$

Considerando una tina cuadrada para este proceso, las dimensiones básicas serán:

$$\text{Longitud del lado de la tina} = (0.7056 \text{ m}^2)^{1/2}$$

$$\text{Longitud del lado de la tina} = 0.84 \text{ m.}$$

Se da un 20% adicional de margen como factor de seguridad, por lo que las dimensiones de la tina serán de 100 x 100 cm.

La profundidad del cuerpo del molino es de 30 cm, se piensa dejar 10 cm arriba y otros tantos abajo. Como además se van a instalar resistencias eléctricas en el fondo del tanque y el nivel del aceite se va a mantener 5 cm abajo del borde superior del recipiente, se piensa que la profundidad de la tina sea de 60 cm.

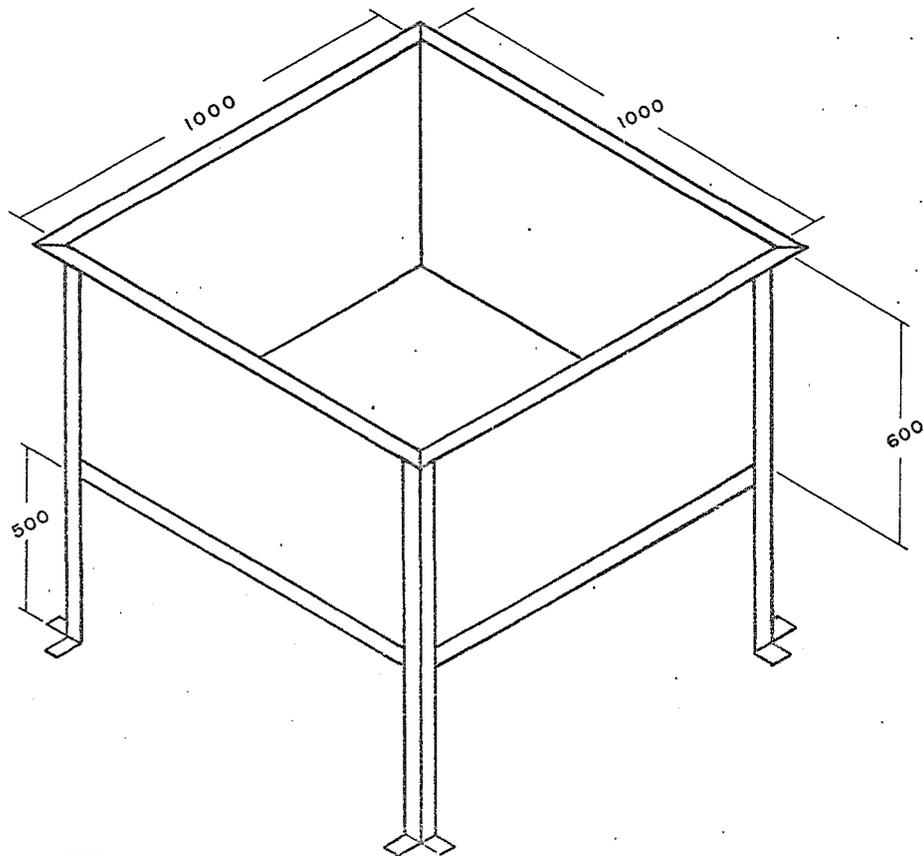
En resumen las dimensiones de la tina de abrillantado son:

Ancho: 100 cm.

Largo: 100 cm.

Profundidad: 60 cm.

El material de construcción de la tina será lámina de acero



ACOTACION: mm.

FACULTAD DE
QUIMICA
1973

TINA DE ABRILLANTADO

TESIS PROFESIONAL

FIGURA NUM. 3

E. F. JAIMES B.

al carbón de 6.3 mm de espesor, lo cual se justifica al hacer el cálculo correspondiente. La masa del recipiente así especificado es 167 Kg.

B. Cálculo del calor requerido para el calentamiento inicial

1) Calor requerido para calentar el tanque de abrillantado,

Q_1 :

$$Q_1 = 167 \text{ Kg} \times 0.12 \text{ Kcal/Kg/}^\circ\text{C} \times (255-20)^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = \underline{4,709 \text{ Kcal}}$$

2) Calor requerido para calentar aceite de palma sólido, Q_2 :

$$Q_2 = 380 \text{ Kg} \times 0.430 \text{ Kcal/Kg/}^\circ\text{C} \times (40-20)^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = \underline{3,268 \text{ Kcal}}$$

3) Calor requerido para fundir el aceite de palma, Q_3 :

$$Q_3 = 380 \text{ Kg} \times 39.2 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q_3 = \underline{14,896 \text{ Kcal}}$$

4) Calor requerido para calentar aceite de palma fundido, Q_4 :

$$Q_4 = 380 \text{ Kg} \times 0.700 \text{ Kcal/Kg/}^\circ\text{C} \times (255-40)^\circ\text{C}$$

$$Q_4 = \underline{57,190 \text{ Kcal}}$$

5) Pérdidas de calor por radiación y convección de la superficie del aceite, de acuerdo a los manuales técnicos de

General Electric, Q_5 :

$$Q_5 = \frac{600 \text{ watts/pie}^2 \times 1 \text{ m}^2 \times 1 \text{ pie}^2 / (0.3048 \text{ m})^2 \times 4 \text{ hrs.}}{1000 \text{ w/kw} \times 2}$$

$$Q_5 = 12.92 \text{ Kw-hr} \times 860 \text{ Kcal/Kw-hr}$$

$$Q_5 = \underline{11,111 \text{ Kcal}}$$

6) Pérdidas de calor a través del aislamiento, Q_6 :

$$Q_6 = 506 \text{ Kcal/hr} \times 4 \text{ hrs}/2$$

$$Q_6 = \underline{1,012 \text{ Kcal}}$$

7) Se recomienda un factor de seguridad de 20%, Q_7 :

$$Q_7 = 20\%(4,709 + 3,268 + 14,896 + 57,190 + 11,111 + 1,012)$$

$$Q_7 = 20\%(92,186) \text{ Kcal}$$

$$Q_7 = \underline{18,437 \text{ Kcal}}$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} Q_i = \text{Calor total requerido}$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} Q_i = 110,623 \text{ Kcal}$$

Este calentamiento será proporcionado en 4 hrs., por lo que el suministro es:

$$S_1 = 110,623 \text{ Kcal}/4 \text{ hrs}$$

$$S_1 = \underline{27,656 \text{ Kcal /hr}}$$

C. Cálculo del calor requerido para operación

1) Calor necesario para calentar lotes bases y racks, Q_8 :

$$Q_8 = 780 \text{ Kg/hr} \times 0.12 \text{ Kcal/Kg/}^\circ\text{C} \times (255-20)^\circ\text{C}$$

$$Q_8 = \underline{21,996 \text{ Kcal/hr}}$$

2) Pérdidas por convección y radiación de la superficie del aceite, Q_9 :

$$Q_9 = \frac{600 \text{ watts/pie}^2 \times 1 \text{ m}^2 \times 1 \text{ pie}^2 / (0.3048 \text{ m})^2}{1,000 \text{ w/Kw}}$$

$$Q_9 = 6.46 \text{ Kw} \times 860 \text{ Kcal/Kw-hr}$$

$$Q_9 = \underline{5,556 \text{ Kcal/hr}}$$

3) Pérdidas de calor a través del aislamiento, Q_{10} :

$$Q_{10} = \underline{506 \text{ Kcal/hr}}$$

4) Factor de seguridad, Q_{11} :

$$Q_{11} = 20\%(21,996 + 5,556 + 506)\text{Kcal/hr}$$

$$Q_{11} = 20\%(28,058)\text{Kcal/hr}$$

$$Q_{11} = \underline{5,612 \text{ Kcal/hr}}$$

$$\sum_{j=8}^{j=11} Q_j = \text{Calor total requerido para operación}$$

$$\sum_{j=8}^{j=11} Q_j = \underline{33,670 \text{ Kcal/hr}}$$

De la comparación de los calores requeridos para calentamiento inicial y para operación, se ve que es mayor el segundo, por lo que es el que decide una de las características del sistema de calentamiento.

D. Selección del sistema de calentamiento

El combustible mas barato en México es el gas natural, sin embargo, sus perspectivas en el futuro van disminuyendo debido a los siguientes factores:

- a) Disponibilidad: Las solicitudes de suministro no están siendo atendidas por parte de Pemex, ya que se está usando como materia prima de algunos compuestos orgánicos.
- b) Instalación: El uso de gas natural requiere el establecimiento de una estación de medición, la cual tiene un costo muy elevado, sobre todo si se considera que el consumo de energía del proceso -objeto de este estudio- es relativamente bajo.
- c) Contaminación: Un sistema de calentamiento usando gas natural u otro combustible, implica la instalación de equipo que reduzca los contaminantes en los gases de combustión, de acuerdo a las leyes y reglamentos existentes de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.
- d) Precio: Un sistema de calentamiento usando gas natural u otro combustible es mas costoso, comparado al que tiene uno de calentamiento eléctrico de igual capacidad.
- e) Mantenimiento: Un sistema que use gas natural u otro combustible requiere mayor mantenimiento que un sistema eléctrico.

Los puntos señalados anteriormente determinan la elección de un sistema de calentamiento eléctrico.

Se van a usar calentadores eléctricos por inmersión, que son 100% eficientes. La potencia que se requiere es:

$$Pr = 33,670 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ Kw-hr}}{860 \text{ Kcal}}$$

$$P_r = \underline{39.1 \text{ Kw}}$$

Para suministrar esta potencia se seleccionaron 9 calentadores de 5 Kw, a 220 volts, de 3 fases, que totalizan 45 Kw. Se eligió un múltiplo de tres para tener la carga eléctrica balanceada. Las resistencias elegidas son del modelo 2D186 General Electric, tienen una longitud unitaria de calentamiento de 93 cm y una densidad de potencia de 3.1 watts/cm², para eliminar la posibilidad de que se carbonice el aceite. Las resistencias son tubulares en forma de horquilla, con los extremos unidos en una caja roscada, para poder ser instaladas a través de la pared de la tina.

E. Selección de la instrumentación

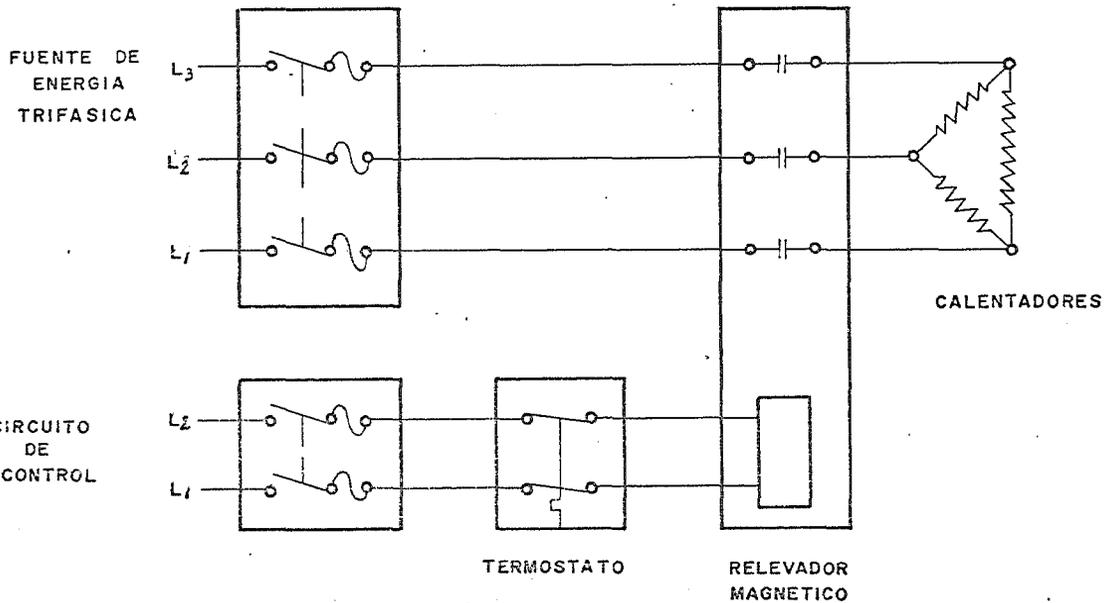
Para controlar la temperatura de operación del aceite se instalará un termostato provisto de bulbo y capilar. La temperatura que se va a controlar está en los límites de 245 a 255°C, por lo tanto se instalará un termostato con rango de 93.3 a 287.7°C (200 a 550°F), con bulbo de 4.8 mm (3/16 de pulg.) de diámetro x 311.2 mm (12.25 pulg.) de longitud, con número de catálogo 6A426G7, que opera a 25 amperes, monofásico, a 220 volts, contactos normalmente abiertos y diferencial de 7.7°C (14°F).

La corriente total de los calentadores es:

$$I = \frac{\text{watts}}{1.73 \text{ volts}}$$

$$I = \frac{45,000 \text{ watts}}{1.73 \times 240}$$

$$I = 108 \text{ amperes}$$



FACULTAD DE
QUIMICA
1973

CIRCUITO ELECTRICO PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA
TESIS PROFESIONAL

FIGURA NUM. 4

E. F. JAIMES B.

Además será instalado un relevador magnético en este circuito para impedir una sobrecarga al termostato. Para esto se selecciona el del número de catálogo CR105E103, monofásico, 220 volts y 150 amperes de corriente máxima en el circuito de calentamiento.

F. Cálculo del aislamiento

Para un mayor espesor de aislamiento se tienen menores pérdidas de calor, pero a mayor aislamiento corresponde un aumento en el costo. Se trata entonces de encontrar un espesor de aislamiento óptimo y que además dé una temperatura exterior que no represente ningún peligro para el operador.

Se han desarrollado relaciones que incluyen un coeficiente combinado de transferencia de calor por convección y radiación. Su valor varía dependiendo de los siguientes factores:

- a) Posición de la superficie
- b) Velocidad del viento
- c) Diferencia de temperaturas entre la superficie externa del aislamiento y el medio ambiente.

El coeficiente de película combinado se obtiene por medio de la siguiente ecuación, expresada en unidades inglesas y obtenida de la revista Hydrocarbon Processing de marzo de 1970:

$$h = T_1(a + b\Delta t_o)/T_2 \quad (1)$$

Donde: T_1 , es un factor adimensional que depende de la posición de la superficie.

T_2 , depende de la velocidad del aire y de la diferencia de temperaturas, externa del aislamiento menos la ambiente.

a y b son constantes con los siguientes valores:

$$a = 1.2 \text{ Btu/pie}^2/\text{°F/hr}$$

$$b = 0.0048 \text{ Btu/pie}^2/\text{°F}^2/\text{hr}$$

Δt_o , es la diferencia de la temperatura de la superficie externa del aislamiento menos la temperatura ambiente - en °F.

Para superficies planas verticales: $T_1 = 1.250$

T_2 , es igual a 1, cuando la velocidad del viento es cero.

Se tiene además, sacada también de la revista antes mencionada, la siguiente ecuación para transferencia de calor:

$$q = K t_i/X = h t_o \quad (2)$$

Substituyendo la ecuación (1) en la ecuación (2) y despejando X se obtiene:

$$X = \frac{T_2 K \Delta t_i}{t_o(a + b\Delta t_o) T_1} \quad (3)$$

Símbolos usados:

q, es el flujo de calor a través del aislamiento en -----
Btu/hr/pie².

K, es la conductividad térmica del aislamiento, a la temperatura promedio, en Btu/hr/pie/°F.

Δt_i , es la diferencia de temperaturas del aislamiento, interna menos la externa en °F.

X, es el espesor del aislamiento en pies.

Como aislamiento se usará colchoneta de fibra de vidrio ti-

po RM-4300 de Vitro-Fibras, S.A., recubierta con malla de alambre interior y exteriormente, con el fin de adaptarla a las irregularidades de la superficie del equipo. Este material tiene las siguientes ventajas:

Alta eficiencia térmica,
 Resistencia a la vibración,
 No favorece la corrosión,
 Puede instalarse fácilmente,
 Tiene larga duración,
 Proporciona acabados tersos y
 Tiene bajo precio.

Su conductividad térmica a 150°C es 0.037 Kcal/hr/m/°C -----
 (0.025 Btu/hr/pie/°F y su densidad es 50 Kg/m³).

Se desea mantener la superficie externa del aislamiento a --
 una temperatura de 40°C ó menor. En estas condiciones:

$$X = \frac{(1)(0.025)(387)}{36(1.2 + 0.0043 \times 36)1.25}$$

$$X = 0.158 \text{ pies} \times 12 \frac{\text{pulg.}}{\text{pie}}$$

$$X = 1.896 \text{ pulg.}$$

$$X' = 1.896 \text{ pulg.} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg.}}$$

$$X' = \underline{\underline{4.82 \text{ cm}}}$$

Se pondrá un espesor de aislamiento de 5.08 cm (2 pulg.), --
 por ser el espesor de aislamiento comercial mas aproximado y con
 el cual se tendrá una temperatura exterior menor de 40°C.

Haciendo la substitución de X por el valor del espesor de aislamiento propuesto, se obtiene una temperatura exterior de 39°C, la cual nos permite calcular las pérdidas de calor a través de las paredes de la tina.

$$q = K \Delta t_i / X$$

$$q = 0.025 \times (491.0 - 102.2) / 1/6$$

$$q = 58.3 \text{ Btu/hr/pie}^2$$

Calor total perdido a través del aislamiento:

$$Q = A q$$

$$A = 3.40 \text{ m}^2 = 34.43 \text{ pies}^2$$

$$Q = 34.43 \text{ pies}^2 \times 58.3 \text{ Btu/hr/pie}^2$$

$$Q = 2,007 \text{ Btu/hr}$$

$$Q = 2,007 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}} \times 0.252 \frac{\text{Kcal}}{\text{Btu}}$$

$$Q = 506 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

G. Diseño de un sistema para extracción de vapores

Se instalará una campana lateral que extraiga los vapores del aceite y el aire caliente con el objeto de asegurar condiciones saludables para los operadores de la planta.

Para calcular el gasto volumétrico de aire que debe aspirarse, se recurre al manual de prevención de accidentes para operaciones industriales del Consejo Nacional de Seguridad de los Estados Unidos de Norteamérica, el cual recomienda la siguiente ecuación:

$$G = K l a$$

Donde: G = Gasto volumétrico en pies^3/min

K = Constante del sistema en pies/min

l = longitud del tanque en pies

a = ancho del tanque en pies

Para este sistema se recomienda un valor de K igual a 200 - pies minuto ($60.96 \text{ m}/\text{min}$), el largo de la tina es 100 cm (3.28 pies) y su ancho tiene el mismo valor, substituyendo se obtiene:

$$G = 200 \times 3.28 \times 3.28$$

$$G = 2,152 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$G' = 60.96 \frac{\text{m}}{\text{min}} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$G' = \underline{60.96 \text{ m}^3/\text{min}}$$

Para este sistema se recomienda un ducto de 33 cm (13 pulg) de diámetro, para el cual se tiene una velocidad:

$$v = \frac{G}{A}$$

$$v = \frac{2,152 \text{ pies}^3/\text{min}}{0.9173 \text{ pies}^2}$$

$$v = 2,345 \text{ pies}/\text{min}$$

$$v' = \frac{60.96 \text{ m}^3/\text{min}}{0.1039 \text{ m}^2}$$

$$v' = \underline{559.7 \text{ m}/\text{min}}$$

Con estos datos se calculan las presiones estática y total, a fin de seleccionar el extractor que se necesita.

Presión total = Caída de presión en la campana + caída de presión en el ducto.

Caída de presión en la campana = 1.9 cm (0.75 pulg) de agua

Caída de presión en el ducto = $\frac{L F}{100}$

Donde: L = Longitud del ducto en pies

F = Caída de presión por fricción en 100 pies de longitud

L = 3.17 m (10.4 pies)

F = 2 cm (0.8 pulg) de agua

Caída de presión en el ducto = $\frac{10.4 \times 0.8}{100}$

Caída de presión en el ducto = 0.08 pulg (0.2 cm) de agua

Presión total = 1.9 cm + 0.2 cm

Presión total = 2.1 cm (0.83 pulg) de agua

Presión dinámica = $(v/4,005)^2$

Presión dinámica = $(2,345/4,005)^2$

Presión dinámica = 0.34 pulg (0.86 cm) de agua

Presión estática = Presión total - Presión dinámica

Presión estática = 2.10 cm - 0.86 cm

Presión estática = 1.24 cm (0.49 pulg) de agua

La potencia que debe tener el motor es:

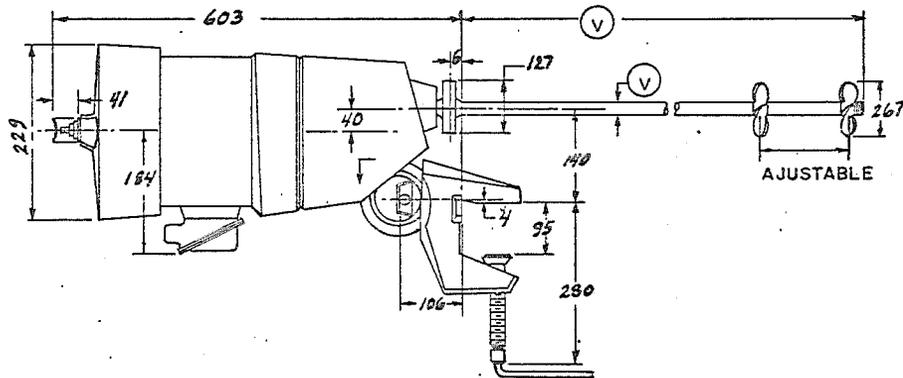
$$\text{BHP} = \frac{G P_t}{6,956 E}$$

Donde: BHP = Potencia al freno en HP

G = Gasto volumétrico en pies³/min

P_t = Presión total del ventilador en pulg. de agua

E = Eficiencia mecánica del ventilador, la cual varía de



V.- variable

ACOTACION : mm.

FACULTAD DE
QUIMICA
1973

AGITADOR DEL BAÑO DE ABRILLANTADO
TESIS PROFESIONAL

FIGURA NUM. 5

E. F. JAIMES B.

0.50 a 0.65.

Substituyendo:

$$\text{BHP} = \frac{2,152 \times 0.63}{3,196 \times 0.50}$$

$$\text{BHP} = \underline{\underline{0.55 \text{ HP}}}$$

Con estos datos, elegimos el ventilador arial modelo 11 AH marca Arneo-Chicago, de 32 cm de diámetro, con aspas de fundición de aluminio, con motor acoplado directamente de 3/4 HP, --- 220/440 volts, 50/60 ciclos, para una capacidad de 61.73 m³/min. (2,180 pies³/min), 950 RPM en el motor eléctrico y una presión estática máxima de 2.54 cm (1 pulgada) de agua.

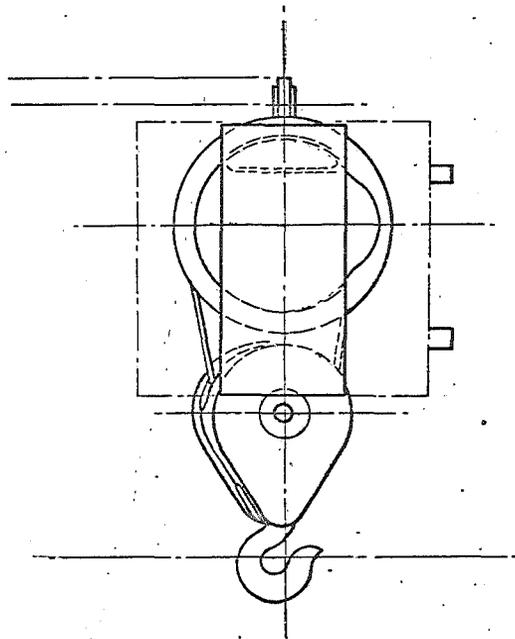
H. Selección de un polipasto eléctrico

Se va a instalar un polipasto eléctrico, para facilitar la introducción y extracción de las piezas en cada uno de los baños del proceso de abrillantado, con las características descritas a continuación:

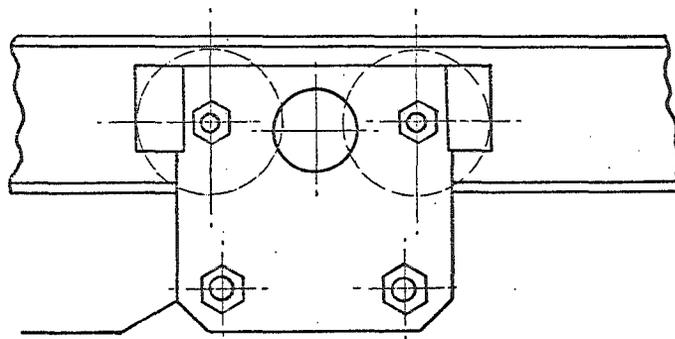
| | |
|-------------------------|-----------|
| Capacidad: | 1,000 kg |
| Altura de elevación: | 5 m |
| Velocidad de elevación: | 7.5 m/min |

Se encontró en el mercado una unidad con las características señaladas anteriormente, equipada con carretilla para movimiento de translación manual, motor de levante de 1 1/2 HP, marca Falk, modelo RE-208, para corriente trifásica, 220/440 volts, 50/60 -- ciclos. El detalle de la carretilla y anclaje del pie del polipasto se muestran en las figuras 6, 7, 8 y 9.

I. Selección de un agitador para transferencia de calor



VISTA LATERAL



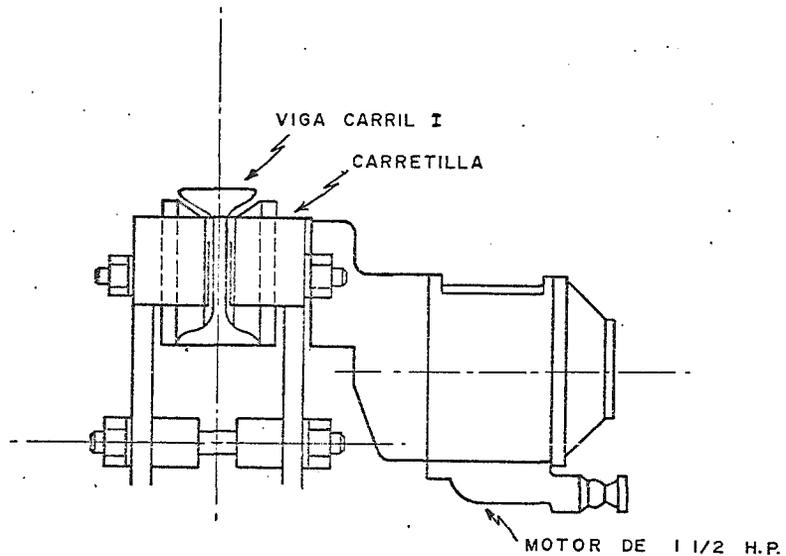
ELEVACION

FACULTAD DE
QUIMICA
1973

DETALLE DEL POLIPASTO
TESIS PROFESIONAL

FIGURA NUM. 6

E. F. JAMES B.



VISTA TRANSVERSAL

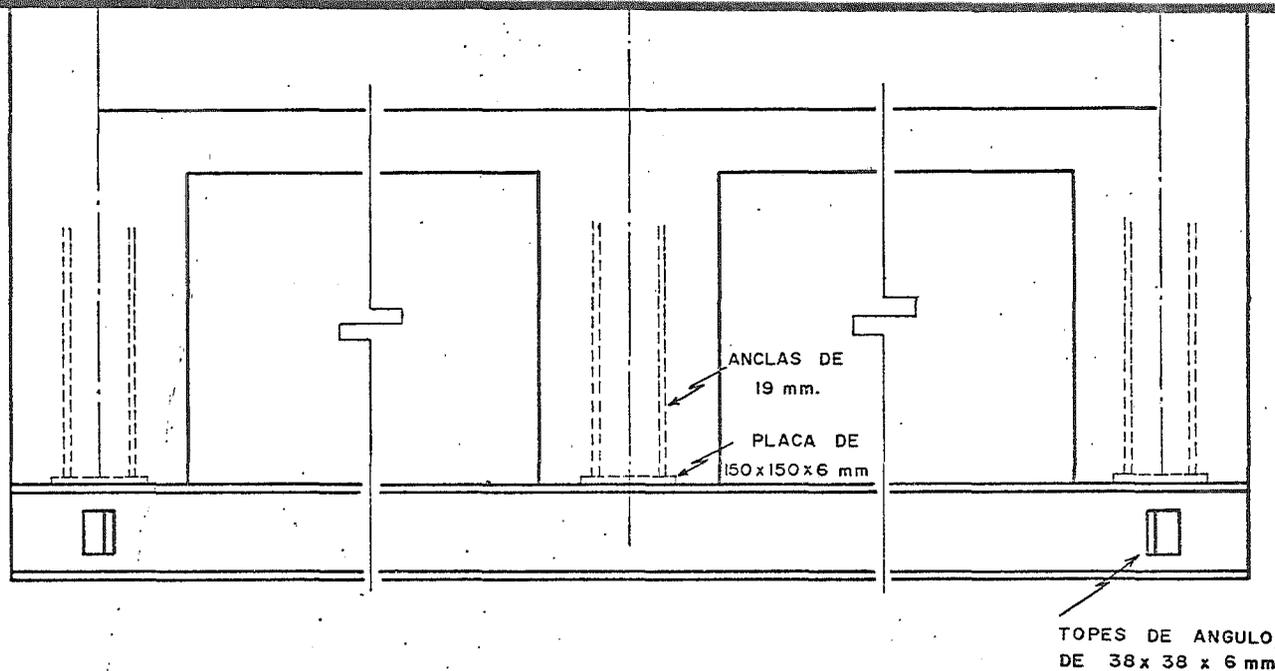
FACULTAD DE
QUIMICA

1973

DETALLE DEL POLIPASTO
TESIS PROFESIONAL

FIGURA NUM. 7

E. F. JAIMES B.



VISTA LATERAL

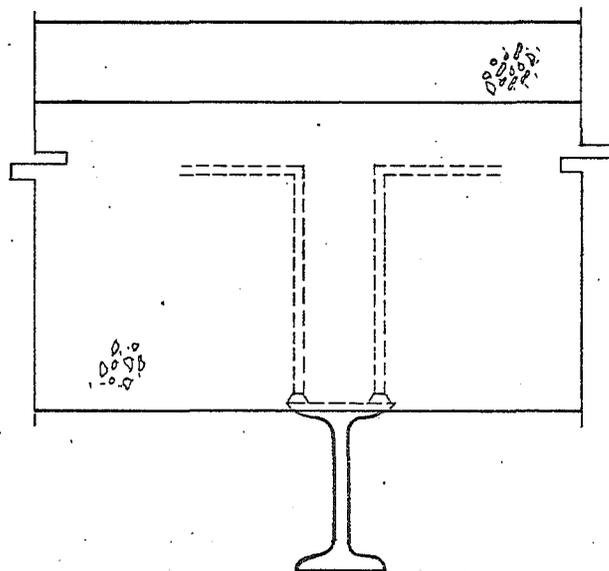
FACULTAD DE
QUIMICA
1973

DETALLE DE ANCLAJE DEL RIEL

TESIS PROFESIONAL

FIGURA NUM. 8

E. F. JAIMES B.



FACULTAD DE
QUIMICA
1973

VISTA TRANSVERSAL DE ANCLAJE DEL RIEL

TESIS PROFESIONAL

FIGURA NUM. 9

E.F. JAIMES B.

No hay bases teóricas para dimensionar un agitador o determinar su velocidad para un proceso particular. En algunos casos una combinación de consideraciones empíricas y teóricas permiten estimar la potencia, de la cual el tamaño y la velocidad pueden ser calculados, pero los únicos métodos confiables son los basados en pruebas a escala de laboratorio o por comparación de la agitación requerida con la instalada para un servicio similar.

Los datos a escala de laboratorio deben ser obtenidos con equipo que presente semejanza geométrica con el tipo de sistema que se está investigando y con ellos se haría una gráfica de $\log(N_t)$ versus $\log(N_{Re})$; donde N_t es la velocidad del impulsor; t , el tiempo requerido para lograr el grado de uniformidad deseado en el fluido que se está agitando y N_{Re} , el número de Reynolds del sistema correspondiente. Utilizando el mismo tiempo de mezclado del laboratorio, la velocidad requerida para un equipo práctico se calcula como:

$$N_2 = N_1 \left(D_1/D_2 \right)^{2x/(x-1)} \quad (1)$$

Donde: N_1 , es la velocidad rotacional del impulsor del agitador a escala de laboratorio.

N_2 , es la velocidad rotacional del agitador a escala de uso práctico.

D_1 , es el diámetro del impulsor del agitador a escala de laboratorio.

D_2 , es el diámetro del impulsor a escala industrial.

x , es la pendiente de la gráfica de $\log(N_t)$ vs. $\log(N_{Re})$

Cuando se cambia el tiempo de agitación, la nueva velocidad puede ser obtenida multiplicando la actual, por la razón: -----

$$(t_2/t_1)^{1/(x-1)}.$$

Las correlaciones empíricas son dadas para flúidos newtonianos, aunque ofrecen aproximaciones muy útiles en algunos casos - para flúidos no-newtonianos. Pueden ser usadas cuando se conocen el tipo de agitador, dimensiones, velocidad y la densidad y viscosidad del flúido para estimar la potencia correspondiente.

La potencia así obtenida es aquélla entregada al impulsor, por lo que para obtener el valor real de esa variable, deben sumársele las pérdidas debidas a sellos mecánicos, reductores de velocidad, etc.

Para calcular la potencia de un agitador deberá seleccionarse primeramente una velocidad rotacional adecuada, la cual puede ser extrapolada de una operación similar. La potencia requerida puede ser calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$P_h = \frac{C R N^3 D^5}{550 g_c} \quad (2)$$

Donde: P_h , es la potencia del agitador en HP

R , es la densidad del líquido en lb/pie^3

N , es la velocidad rotacional del impulsor en RPS

D , es el diámetro del impulsor en pies

g_c , es un factor de conversión

C , es un factor adimensional de corrección

Se hará una estimación de la potencia requerida para nuestro sistema, tomando como base de cálculo las condiciones más críticas, cuando el aceite empieza a calentarse. Los datos necesarios son los siguientes:

$$C = 0.7$$

$$R = 54 \text{ lb}/\text{pie}^3 \text{ (A } 40^\circ\text{C)}$$

$N = 6$ RPS, es el valor recomendado.

$D = 0.875$ pies (26.7 cm)

Substituyendo se obtiene:

$$P_h = \frac{0.7 \times 54 \times (6)^3 \times (0.875)^5}{550 \times 32.17}$$

$$P_h = \underline{0.30 \text{ HP}}$$

Tomando en cuenta que ésta es la potencia teórica que debe suministrarse al agitador y que no existen datos reales para calcular las pérdidas que se tienen en el equipo, se seleccionó el agitador modelo HDT-4S, marca Falk, con motor de 1/2HP, 3 fases, 50/60 ciclos, 1450/1750 RPM y con velocidad de salida de 290/350 RPS. Sus características y dimensiones se observan en la figura núm. 5

J. Estructura de la tina

El comportamiento de aceite graso durante la operación de abrillantado es de radical importancia, de ahí el esmerado cuidado en seleccionar los materiales y espesores adecuados de construcción para las paredes y el fondo de la tina.

Para calcular el espesor mínimo de placa se considera el esfuerzo a que está sometida una sección de 1 cm. de ancho en la parte más profunda de la tina, que es la que se encuentra en la condición más crítica.

El peso del aceite es:

$$P = V e$$

(1)

Donde: V, es el volumen de aceite y

e, es el peso específico del mismo.

$$V = 50 \times 100 \times 1 \text{ cm}^3$$

$$V = 5000 \text{ cm}^3$$

$$e = 0.76 \text{ g/cm}^3$$

Substituyendo los datos en la ecuación (1) se obtiene:

$$P = 5,000 \text{ cm}^3 \times 0.76 \text{ g/cm}^3$$

$$P = 3,800 \text{ g}$$

$$P' = 3,800 \text{ g} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1,000 \text{ g}}$$

$$P' = \underline{3.8 \text{ Kg}}$$

Se supone que la sección considerada trabaja como una viga con carga uniformemente repartida, w_1 .

$$w_1 = \frac{P}{l}$$

$$w_1 = \frac{3.8 \text{ Kg}}{100 \text{ cm}}$$

$$w_1 = 0.038 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}}$$

Su momento flexionante máximo es:

$$M_{f1} = \frac{w_1 l^2}{8}$$

$$M_{f1} = \frac{0.038 \times 100^2}{8}$$

$$M_{f1} = \underline{47.5 \text{ Kg-cm.}}$$

Su módulo de sección es:

$$S_1 = \frac{M_f l}{\sigma_t}$$

$$S_1 = \frac{47.5 \text{ Kg-cm}}{1,265 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$S_1 = 0.038 \text{ cm}^3$$

Cuando el eje del momento pasa por el centro del rectángulo considerado, $S_1 = b h^2/6$, se sabe además que b es igual a 1 cm. , con lo que despejando el valor de h se obtiene:

$$h = (6 S/b)^{1/2}$$

$$h = (6 \times 0.038/1)^{1/2}$$

$$h = \underline{0.48 \text{ cm.}}$$

El espesor comercial mas aproximado es el de 0.63 cm ($1/4$ - de pulgada), que será el que se utilice, de lámina de acero al carbón.

En el centro del fondo del tanque se hará una conexión, para drenarlo, con medio cople de una pulgada.

Entre el tanque de aceite graso y el de desengrasado se dejará una distancia de un metro, donde se colocará una charola de escurrimiento, con un área igual a la del tanque, de lámina calibre 20, con un pequeño ángulo de inclinación. Esto permitirá regresar los residuos de aceite (a la tina correspondiente), que las piezas lleven consigo y al mismo tiempo reducir el consumo de solución desengrasante.

La tina será colocada en un marco estructural, para distribuir mas uniformemente su peso; se hará un resumen de las cargas que actúan sobre él para poder calcularlo:

| | |
|--------------------------|---------------|
| Peso del aceite | 380 Kg |
| Peso de la tina | 167 Kg |
| Peso de las resistencias | 50 Kg |
| Peso del aislamiento | 6 Kg |
| Carga viva | 70 Kg |
| <u>Total</u> | <u>673 Kg</u> |

La carga total se distribuye perimetralmente en el marco, -
hecho de elementos angulares, por lo que puede considerarse re-
partida en dos vigas, dado que la tina es cuadrada, por lo tan-
to:

$$w_2 = \frac{673 \text{ Kg}}{2}$$

$$w_2 = 336.5 \text{ Kg}$$

Como se trata de vigas con carga uniformemente repartida:

$$M_{f2} = \frac{P l}{8}$$

$$M_{f2} = \frac{336.5 \times 100}{8}$$

$$M_{f2} = 4,206 \text{ Kg-cm}$$

Su módulo de sección es:

$$S_2 = \frac{4,206 \text{ Kg-cm}}{1,265 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$S_2 = 3.3 \text{ cm}^3$$

Con este dato se elige el ángulo de 50.8 x 50.3 x 6.3 mm, -
que tiene un módulo de sección de 4.1 cm³, con el que se tiene -
un margen de seguridad adicional.

En las cuatro esquinas o vértices del marco se soldarán elementos angulares en posición vertical, que serán los soportes de la estructura, con una dimensión tal que la tina se encuentre a 110 cm. del nivel del piso, que es la altura escogida para la operación.

Por uniformidad de construcción los soportes serán ángulos de la misma medida que los elementos del marco, así que únicamente se verificará si son capaces de soportar el esfuerzo a que estarán sometidos. Se supone que la carga se reparte uniformemente sobre cada uno de ellos, por lo tanto se tiene:

$$w_3 = \frac{673 \text{ Kg}}{4}$$

$$w_3 = \underline{\underline{168.25 \text{ Kg}}}$$

El esfuerzo de compresión del acero es de 1,400 Kg/cm² y el área del ángulo propuesto es de 6.06 cm², pudiendo soportar hasta 8,484 Kg, con lo cual se ve que el ángulo elegido está ampliamente sobrado. Debido a esta circunstancia no se considera pandeo. Se muestra gráficamente en la figura núm. 3.

2. Diseño del equipo para desengrasado alcalino.

Como se mencionó en el capítulo III el desengrasado se efectúa introduciendo las piezas en una solución de carbonato de sodio y sosa cáustica, la cual va a mantenerse en un rango de temperatura de 80 a 90°C, con el fin de hacer mas efectiva esta operación, la cual consiste en eliminar los residuos de aceite que hayan podido quedar sobre las piezas, provenientes de la operación anterior.

Como los lotes que se van a introducir en esta tina son los mismos que en la del aceite de palma, sus dimensiones van a ser

idénticas. Se hará el cálculo del aislamiento que necesitan las paredes del tanque, con el objeto de que las pérdidas de calor sean mínimas; después de ésto se hará un balance de energía para conocer si es suficiente el calor cedido por las piezas para mantener la temperatura de operación o si se requiere calentamiento adicional. Finalmente se proyectará la estructura de la tina.

A. Cálculo del aislamiento

Con el doble propósito de reducir las pérdidas de calor y abatir la temperatura exterior del tanque, se va a aislar con colchoneta de fibra de vidrio RW-4200; el espesor mas delgado es el de una pulgada, por lo que será el que se coloque, solamente se comprobará si con él la temperatura exterior está dentro del rango de seguridad. La ecuación a usar ya se conoce, por haber sido usada al calcular el aislamiento de la tina de abrillantado, por lo tanto se aplicará directamente:

$$\frac{1}{12} = \frac{(1)(0.025)(194 - t_{ae})}{1.25(t_{ae} - 53) \left(1.2 + 0.0048(t_{ae} - 53) \right)}$$

Despejando t_{ae} (Temperatura exterior del aislamiento), se obtiene:

$$t_{ae} = 36.8^{\circ}\text{F}$$

$$t_{ae} = \frac{36.8 - 52.0}{1.3} \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$t_{ae} = 30.4^{\circ}\text{C}$$

La cual es una temperatura aceptable.

Ahora se calcularán las pérdidas, a través del aislamiento, de calor:

$$q = \frac{0.025(194.0 - 86.8)}{1/12}$$

$$q = 32.16 \text{ Btu/hr/pie}^2$$

$$\dot{q} = 32.16 \text{ Btu/hr/pie}^2 \times 1 \text{ pie}^2 / (0.3048 \text{ m})^2 \times 0.252 \text{ Kcal/Btu}$$

$$q = \underline{87.23 \text{ Kcal/hr/m}^2}$$

B. Balance de energía

Se estima que la temperatura de las piezas a la salida del baño anterior va a ser de 245°C y en el momento en que sean introducidas a la solución alcalina de 230°C; en ésta va a permanecer dos minutos, por lo que al salir debe tener una temperatura de 90°C.

Cálculo del calor requerido para calentamiento inicial

1) Calor requerido para calentar el tanque, Q_1 :

$$Q_1 = 167 \text{ Kg} \times 0.12 \text{ Kcal/Kg/}^\circ\text{C} \times (90 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = \underline{1,403 \text{ Kcal}}$$

2) Calor requerido para calentar la solución alcalina, Q_2 :

$$Q_2 = m_{sa} c_{sa} (T_2 - T_1)$$

$$m_{sa} = 500 \text{ dm}^3 \times 1 \text{ Kg/dm}^3$$

$$m_{sa} = 500 \text{ Kg}$$

$$c_{sa} = 1 \text{ Kcal/Kg/}^\circ\text{C}$$

Para la densidad y el calor específico de la solución alcalina se tomaron los valores de esas propiedades en el agua, por tratarse de una solución de baja concentración. Al substituir se obtiene:

$$Q_2 = 500 \text{ Kg} \times 1 \text{ Kcal/Kg/}^\circ\text{C} \times (90 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = \underline{35,000 \text{ Kcal}}$$

- 3) Pérdidas de calor por radiación y convección de la superficie del agua, Q_3 :

$$Q_3 = \frac{600 \text{ watts/m}^2 \times 1 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m}^2 / (0.3048 \text{ m})^2 \times 4 \text{ hrs}}{1,000 \text{ w/Kw} \times 2}$$

$$Q_3 = 12.91 \text{ Kw-hr} \times 860 \text{ Kcal/Kw-hr}$$

$$Q_3 = \underline{11,103 \text{ Kcal}}$$

El factor usado fue obtenido de los manuales técnicos de General Electric.

- 4) Pérdidas de calor a través del aislamiento, Q_4 :

$$Q_4 = \frac{87.23 \text{ Kcal/hr/m}^2 \times 3.40 \text{ m}^2 \times 4 \text{ hrs}}{2}$$

$$Q_4 = \underline{604 \text{ Kcal}}$$

- 5) Factor de seguridad, Q_5 :

$$Q_5 = 20\% (1,403 + 35,000 + 11,103 + 604) \text{ Kcal}$$

$$Q_5 = 20\% (48,110) \text{ Kcal}$$

$$Q_5 = \underline{9,622 \text{ Kcal}}$$

$$\sum_{i=1}^{i=5} Q_i = \text{Calor total requerido}$$

$$\sum_{i=1}^{i=5} Q_i = \underline{57,732 \text{ Kcal}}$$

El calentamiento se va a realizar en 4 hrs, por lo que la potencia necesaria es:

$$P = \frac{57,732 \text{ Kcal} \times 1 \text{ Kw-hr}/360 \text{ Kcal}}{4 \text{ hrs}}$$

$$P = \underline{15.7 \text{ Kw}}$$

Calor cedido por las piezas = Calor ganado por el sistema

El calor cedido por las piezas es:

$$Q_c = 780 \text{ Kg/hr} \times 0.12 \text{ Kcal/Kg/}^\circ\text{C} \times (90 - 230)^\circ\text{C}$$

$$Q_c = - \underline{13,104 \text{ Kcal/hr}}$$

Las pérdidas de calor que se tienen en el sistema son:

1) Pérdidas de calor por radiación y convección, Q_1 :

$$Q_1 = \frac{600 \text{ watts/pie}^2 \times 1 \text{ m}^2 \times 1 \text{ pie}^2 / (0.3048 \text{ m})^2}{1,000 \text{ w/Kw}}$$

$$Q_1 = 6.46 \text{ Kw} \times 860 \text{ Kcal/Kw-hr}$$

$$Q_1 = \underline{5,557 \text{ Kcal/hr}}$$

2) Pérdidas de calor a través del aislamiento, Q_2 :

$$Q_2 = 87.23 \text{ Kcal/hr/m}^2 \times 3.40 \text{ m}^2$$

$$Q_2 = 302 \text{ Kcal/hr}$$

$$\sum_{i=1}^{i=2} Q_i = \text{Pérdidas totales de calor}$$

$$\sum_{i=1}^{i=2} Q_i = \underline{5,859 \text{ Kcal/hr}}$$

$$\begin{aligned} & \text{Calor cedido por las piezas} - \text{Calor perdido por el sistema} \\ & = (13,104 - 5,859) \text{ Kcal/hr} = \text{Calor que gana el sistema.} \\ & = 7,245 \text{ Kcal/hr.} \end{aligned}$$

Como se puede ver, durante la operación el sistema gana calor, sin embargo, debe instalarse una fuente de energía para calentamiento inicial. Con este propósito se van a instalar 5 calentadores eléctricos de 3 Kw cada uno, 220 volts, corriente trifásica, modelo 2D183 General Electric, de 78 cm de longitud unitaria de calentamiento. Serán instalados en el fondo del tanque a través de la pared. La corriente que circulará por el circuito es:

$$\text{Amperes} = \frac{\text{watts}}{\text{volts} \times 1.73}$$

$$\text{Amperes} = \frac{18,000}{220 \times 1.73}$$

$$\text{Amperes} = 47$$

Para controlar la temperatura de operación del agua se va a instalar un termostato provisto de bulbo y capilar. Esa temperatura como ya se dijo está en el rango de 80 a 90°C (176 a 194°F), por lo tanto se instalará un termostato con rango de 15.5 a 121.1°C (60 a 250°F), con bulbo de 9.5 mm (3/8 de pulgada) de diámetro por 113.5 mm (4.5 pulgadas) de longitud, número de catálogo 5A4634, que opera a 25 amperes, 220 volts de corriente monofásica, contactos normalmente abiertos y diferencial igual a 5.5°C (10°F).

Será provisto de un relevador magnético para impedir una sobrecarga al termostato, número de catálogo CR105H105, 90 amperes, 1 fase y 220 volts.

C. Estructura de la tina:

El peso específico de la solución alcalina se considera igual al del agua; por lo tanto, haciendo las mismas consideraciones que para la tina de abrillantado:

$$V = 5 \text{ dm}^3$$

$$e = 1 \text{ Kg/dm}^3$$

$$P = 5 \text{ dm}^3 \times 1 \text{ Kg/dm}^3$$

$$P = 5 \text{ Kg}$$

$$w_1 = \frac{P}{l}$$

$$w_1 = \frac{5 \text{ Kg}}{100 \text{ cm}}$$

$$w_1 = 0.05 \text{ Kg/cm}$$

Su momento flexionante es:

$$M_{f1} = \frac{w_1 l^2}{8}$$

$$M_{f1} = \frac{0.05 \times 100^2}{8}$$

$$M_{f1} = 62.5 \text{ Kg-cm}$$

Su módulo de sección es:

$$S_1 = \frac{M_{f1}}{t}$$

$$S_1 = \frac{62.5 \text{ Kg-cm}}{1,265 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$S_1 = 0.049 \text{ cm}^3$$

Y el espesor requerido:

$$h = \left(\frac{6 S_1}{b} \right)^{1/2}$$

$$h = \left(\frac{6 \times 0.049}{1} \right)^{1/2}$$

$$h = 0.294)^{1/2}$$

$$h = \underline{0.57 \text{ cm}}$$

Por lo tanto también se usará placa de acero al carbón de -
6.3 mm:

Las cargas que van a actuar sobre la estructura son:

| | |
|-------------------------------------|---------------|
| Peso de la solución alcalina | 500 Kg |
| Peso de la tina | 167 Kg |
| Peso de los calentadores eléctricos | 30 Kg |
| Peso del aislamiento | 3 Kg |
| <u>Carga viva</u> | <u>70 Kg</u> |
| <u>Total</u> | <u>770 Kg</u> |

Se considera que se reparte igualmente en dos vigas del mar-
co, lo cual produce:

$$W_2 = \frac{770 \text{ Kg}}{2}$$

$$W_2 = \underline{385 \text{ Kg}}$$

Como la carga se encuentra uniformemente repartida, su momen-
to flexionante es:

$$M_{f2} = \frac{P l}{8}$$

$$M_{f2} = \frac{385 \times 100}{8}$$

$$M_{f2} = \underline{4,812 \text{ Kg-cm}}$$

Y su módulo de sección es:

$$S_2 = \frac{4,812 \text{ Kg-cm}}{1,265 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$S_2 = \underline{3.80 \text{ cm}^3}$$

Por lo tanto se elige también el ángulo de 50.8x50.8x6.3 mm, que tiene un módulo de sección de 4.10 cm³ y es el mas cercano al que se requiere.

Se colocará en el fondo del tanque un medio niple roscado de 2.54 cm (una pulgada), unido a un ducto del mismo diámetro, que esté provisto de una válvula de compuerta para poder drenar el tanque.

Se proveerá de 4 patas soporte y se colocarán elementos angulares transversales, a 50 cm del piso, que rigidicen los ángulos columna. Por uniformidad estos elementos serían de la misma medida que los del marco, los cuales se vió ya, soportan un peso bastante mas elevado de aquél al que van a ser sometidos.

Entre la tina de desengrase alcalino y la de lavado se dejará una distancia de un metro, para que la solución arrastrada por las piezas caiga al drenaje, donde se colocará una rejilla de resina poliéster tipo "irving" con un área de un metro cuadrado.

3. Diseño de la tina de lavado

El objeto del lavado de las piezas es eliminar los residuos de solución alcalina que hayan quedado sobre las piezas en proceso y al mismo tiempo enfriarlas hasta una temperatura manejable.

Para hacer mas efectiva esta operación, se pensó hacerla en dos etapas, para lo cual se construirá un tanque del doble de largo de los anteriores y en la parte media, en esa dirección, se colocará una mampara con placa del mismo material del tanque, de 55 cm de altura, de tal manera que permita el paso del agua de una sección a otra, permitiendo que el agua de lavado de la segunda etapa sea siempre mas limpia.

Del lado izquierdo de la primera sección de lavado, se colocará una charola de derrame, formada por una canal de 76.2 mm y en un extremo de ésta un embudo hecho de lámina galvanizada que vaya eliminando el agua al drenaje.

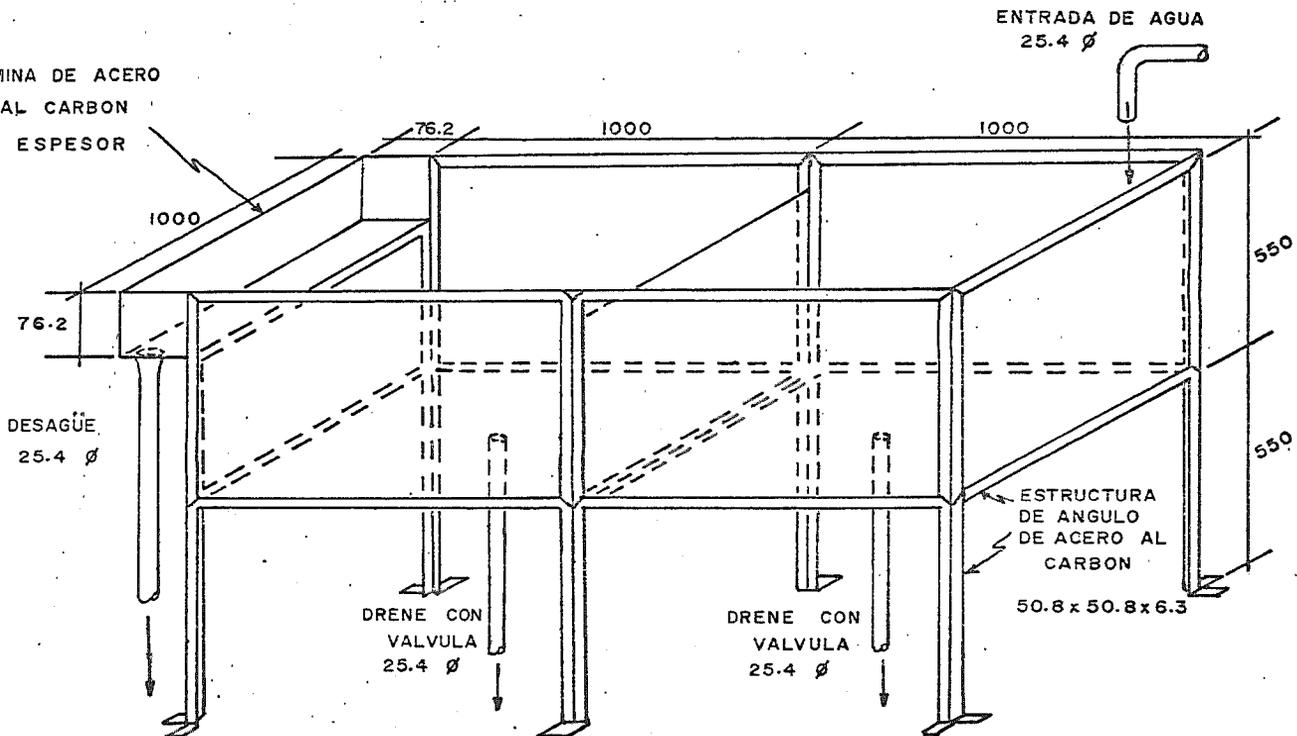
En el centro de cada una de las secciones mencionadas se colocarán medios nipples roscados de 25.4mm, unidos a ductos del mismo diámetro, con válvula de compuerta para cuando se desee vaciar el tanque.

La temperatura a que se realice esta operación no es determinante, por lo que ni siquiera se intenta un balance de calor.

Toda la tina será hecha de lámina de acero al carbón de 6.3 mm, como ya se ha visto en el cálculo de las tinas anteriores resiste sobradamente el esfuerzo a que es sometida. Se colocará sobre un marco de elementos angulares de 50.8 x 50.8 x 6.3 mm, con la diferencia de las tinas anteriores, que en lugar de 4 soportes se proveerá de 6 para reducir el esfuerzo en la parte media. Ver detalle de construcción en la figura núm. 10.

A la salida de la tina de lavado se pondrá rejilla de resina poliéster tipo "Irving", en un área de un metro cuadrado sobre

LAMINA DE ACERO
AL CARBON
6.3 ESPESOR



ACOTACION : mm

FACULTAD
DE QUIMICA
1973

TINA DE LAVADO

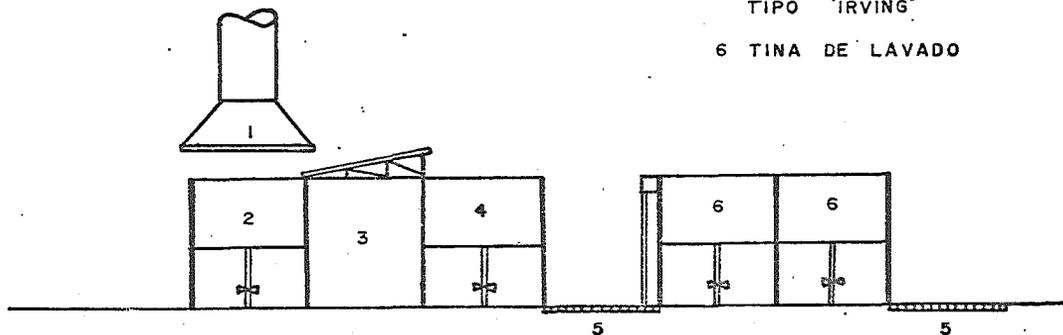
TESIS PROFESIONAL

FIGURA NUM. 10

E. F. JAIMES B.

el piso, para mandar al drenaje los residuos de agua que llevan las piezas.

- 1 CAMPANA DE EXTRACCION
- 2 TINA DE ABRILLANTADO
- 3 ESCURRIDERA
- 4 TINA DE DESENGRASE ALCALINO
- 5 REJILLA DE RESINA POLIESTER
TIPO "IRVING"
- 6 TINA DE LAVADO



FACULTAD DE
QUIMICA
1973

PROCESO DE ABRILLANTADO

TESIS PROFESIONAL

FIGURA NUM. II

E. F. JAIMES B.

VI. CONSIDERACIONES ECONOMICAS

Habiendo realizado el diseño del equipo, se va a analizar como se ve afectado el costo de manufactura de los artículos en cuestión, por la instalación de equipo adicional de abrillantado, que indiscutiblemente mejorará la calidad de acabado de los molinos. La decisión de modificar el proceso normal que se había seguido hasta la fecha es función del balance que resulta de comparar el incremento en el costo de manufactura y las utilidades percibidas por la empresa. Habrá que considerar desde luego otras posibilidades, como son: Posible aumento al costo de venta, campaña de reducción de costos y mejoras a la eficiencia del proceso. Nos concretaremos simplemente a ver el efecto en el costo de manufactura, para lo cual se analizarán los renglones siguientes:

1. Costos de operación

Se tomará como base un año de producción, que corresponde a 120,000 molinos y los diferentes cargos que intervienen en el costo de fabricación se enunciarán a continuación:

1.1. Materiales de operación

1.1.1. Aceite de palma

Se estima un consumo diario del 10% del volumen del tanque.

$$38 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} \times 300 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 11,400 \frac{\text{Kg}}{\text{año}}$$

$$11,400 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \times 5.50 \frac{\$}{\text{Kg}} = 62,700 \frac{\$}{\text{año}}$$

1.1.2. Hidróxido de sodio

La solución de desengrasado debe contener 4 g/l, el conteni-

do de la tina es de 500 litros y se va a cambiar diariamente.

$$4 \frac{\text{g}}{\text{l}} \times 500 \frac{\text{l}}{\text{día}} = 2,000 \text{ g}$$

$$2,000 \text{ g} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1,000 \text{ g}} = 2 \text{ Kg}$$

$$2 \frac{\text{Kg de NaOH}}{\text{día}} \times 3 \frac{\$}{\text{Kg de NaOH}} = 6 \frac{\$}{\text{día}}$$

$$6 \frac{\$}{\text{día}} \times 300 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 1,800 \frac{\$}{\text{año}}$$

1.1.3. Carbonato de sodio

La solución debe contener 4 g de $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{l}$, el contenido de la tina es de 500 litros y se va a cambiar diariamente como ya se indicó, por lo tanto:

$$4 \frac{\text{g}}{\text{l}} \times 500 \frac{\text{l}}{\text{día}} = 2,000 \frac{\text{g}}{\text{día}}$$

$$2,000 \frac{\text{g}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1,000 \text{ g}} = 2 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

$$2 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} \times 1.50 \frac{\$}{\text{Kg}} = 3 \frac{\$}{\text{día}}$$

$$3 \frac{\$}{\text{día}} \times 300 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 900 \frac{\$}{\text{año}}$$

1.1.4. Resumen de materiales de operación

| | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Aceite de palma: | 62,700 $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| Hidróxido de sodio: | 1,800 $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| Carbonato de sodio: | 900 $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| <hr/> | |
| Costo de materiales de operación: | 65,400 $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| <hr/> | |

1.2. Mano de obra directa:

Son ne cesarios 2 obreros, con un sueldo de 45 pesos diarios. Se considera además 50% de su sueldo en prestaciones laborales, - que incluyen seguro social, vacaciones, aguinaldo, reparto de utilidades, infonavit, entre otras.

$$2 \times 45(1+0.50) = 135 \frac{\$}{\text{día}}$$

$$135 \frac{\$}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 49,275 \frac{\$}{\text{año}}$$

1.3. Servicios

1.3.1. Agua:

Se estima un consumo diario de 1,000 litros.

$$1,000 \frac{\text{l}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1,000 \text{ l}} = 1 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$1 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 0.80 \frac{\$}{\text{m}^3} \times \frac{300 \text{ días}}{\text{año}} = 240 \frac{\$}{\text{año}}$$

1.3.2. Energía Eléctrica

El consumo de este servicio, incluye su uso en resistencias eléctricas y motores del equipo.

1.3.2.1. Resistencias eléctricas de la tina de abrillantado

$$39.1 \text{ Kw} \times 2,608 \frac{\text{hrs}}{\text{año}} = 101,973 \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}}$$

1.3.2.2. Resistencias eléctricas de la tina de desengrase alcalino

$$16.7 \text{ Kw} \times 4 \frac{\text{hrs}}{\text{día}} \times 300 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 20,040 \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}}$$

1.3.2.3. Motor del ventilador

$$0.75 \text{ HP} \times 0.7457 \frac{\text{Kw}}{\text{HP}} \times 2,400 \frac{\text{hrs}}{\text{año}} = 1,343 \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}}$$

1.3.2.4. Motor del agitador

$$0.50 \text{ HP} \times 0.7457 \frac{\text{Kw}}{\text{HP}} \times 548 \frac{\text{hrs}}{\text{año}} = 204 \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}}$$

1.3.2.5. Motor del polipasto

$$1.50 \text{ HP} \times 0.7457 \frac{\text{Kw}}{\text{HP}} \times 2,400 \frac{\text{hrs}}{\text{año}} = 2,684 \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}}$$

1.3.2.6. Consumo de energía eléctrica de motores

$$(1,343 + 204 + 2,684) \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}} = 4,231 \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}}$$

1.3.2.7. Consumo total de energía eléctrica

$$(101,973 + 20,040 + 4,231) \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}} = 126,204 \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}}$$

1.3.2.8. Costo total de energía eléctrica

$$126,204 \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}} \times 0.24 \frac{\$}{\text{Kw}} = 30,289 \frac{\$}{\text{año}}$$

1.3.3. Costo total de servicios

$$(240 + 30,289) \frac{\$}{\text{año}} = 30,529 \frac{\$}{\text{año}}$$

1.4. Equipo de seguridad y otros

Se estima calculando el 2% de la inversión directa.



QUÍMICA

$$\frac{2\%}{\text{año}} (\$ 34,755) = 6,950.10 \frac{\$}{\text{año}}$$

1.5. Mano de obra para mantenimiento

Se estima que una persona dedicaría la cuarta parte de su tiempo a reparación de equipo y mantenimiento preventivo, esa persona tendría un sueldo de 60 pesos diarios.

$$0.25 \times 60 \frac{\$}{\text{día}} (1.0 + 0.5) = 22.50 \frac{\$}{\text{día}}$$

$$22.50 \frac{\$}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 8,212.50 \frac{\$}{\text{año}}$$

1.6. Materiales para mantenimiento

Se estima calculando el 3% anual de la inversión directa.

$$\frac{3\%}{\text{año}} (\$ 34,755) = 1,142.65 \frac{\$}{\text{año}}$$

1.7. Depreciación

El costo del equipo mas los gastos de instalación de éste se deprecian a 10 años. El monto de esa inversión se calcula después aunque podemos saber que asciende a \$ 39,968.00

$$\text{Depreciación} = \frac{\$ 39,968.00}{10 \text{ años}}$$

$$\text{Depreciación} = 3,996.80 \frac{\$}{\text{año}}$$

1.8. Renta del edificio

El área necesaria para instalar el equipo y trabajarlo se estima en 24 m², en la zona donde está instalada la planta se tiene una renta de 8 $\frac{\$}{\text{m}^2}$ mensuales.

$$24 \text{ m}^2 \times 8 \frac{\$}{\text{m}^2\text{-mes}} = 192 \frac{\$}{\text{mes}}$$

$$192 \frac{\$}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} = 2,304 \frac{\$}{\text{año}}$$

1.9. Costos anuales de operación

| | | |
|---------------------------------|---------|-------------------------|
| Materiales de operación | 65,400 | $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| Mano de obra directa | 49,275 | $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| Servicios | 30,529 | $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| Equipo de seguridad y otros | 6,950 | $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| Mano de obra para mantenimiento | 8,212 | $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| Materiales para mantenimiento | 1,143 | $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| Depreciación | 3,997 | $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| Renta del edificio | 2,304 | $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| <hr/> | | |
| Costos anuales de operación | 167,810 | $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| <hr/> | | |

$$\text{Costo de operación unitario} = \frac{167,810 \text{ \$/año}}{120,000 \text{ molinos}}$$

$$\text{Costo de operación unitario} = 1.40 \frac{\$}{\text{molino}}$$

2. Inversión

Este renglón corresponde a la compra del equipo necesario para llevar a cabo el proceso de abrillantado, el cual ha sido adecuadamente definido. Su valor se basa en cotizaciones reales.

| | |
|--|------------------|
| 3 tinas de acero al carbón con sus respectivas estructuras, según diseño | \$ 5,200 |
| 2 termostatos de control | \$ 1,450 |
| 2 relevadores magnéticos | \$ 950 |
| 9 resistencias eléctricas de 5 Kw cada una | \$ 4,675 |
| 6 resistencias eléctricas de 3 Kw cada una | \$ 3,000 |
| 1 campana y ducto de extracción de vapores | \$ 1,500 |
| 1 ventilador Armee-Chicago de 3/4 HP | \$ 3,000 |
| 1 agitador Falk de 1/2 HP | \$ 5,000 |
| 1 polipasto eléctrico Falk, con motor de levante de 1 1/2 HP | \$ 6,000 |
| 2 m ² de rejilla poliéster tipo "irving" | \$ 1,000 |
| Colchoneta de fibra de vidrio. RW-4300 marca Vitrofibras. | \$ 2,380 |
| <u>Total equipo</u> | <u>\$ 34,755</u> |
| Mas 15% de instalación (Materiales de campo y mano de obra) | \$ 5,213 |
| <u>Total equipo ya instalado</u> | <u>\$ 39,968</u> |

C O N C L U S I O N E S

Considerando las diferencias en la estructura de la superficie de piezas estañadas sin abrillantar, que son de color mate y rugosas, contra aquélla estañada y abrillantada, que es tersa, salta a la vista que esta última condición es absolutamente indispensable para un aseo higiénico de los molinos de semillas para uso doméstico, empleados por personas de escasos recursos.

Además el costo incremental de operación solo representa un 4.7% de \$ 30.00, precio de venta al distribuidor. Ese aumento se justifica plenamente por la diferencia de presentación y facilidades para su higiene.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Thwaites, C.J.
Hot-Tinning
Tin Research Institute
Fraser Road, Greenford, Middlesex, England (1967)
- 2.- The Industry's Recognized International Technical
Metal Finishing Guidebook Directory for 1969.
Metals and Plastics Publications, Inc.
New York, E.U.A.
- 3.- Modern Electroplating
Gray, Allen G.
Jhon Wiley and Sons, Inc.
New York, E.U.A. (1953)
- 4.- Control of Anodes in Alkaline Tin Plating
Technical Data Sheet
Metal & Thermit Corporation Chemical Division
Rahway, N.J., E.U.A. (1956)
- 5.- Operation of the UdyLite Stannostar
Bright Acid Tin Plating Process
Technical Bulletin
The UdyLite Corporation
Detroit 48234, Michigan, E.U.A. (1967)
- 6.- Engineering Data for use of stannous sulfate in liquor
finishing
Technical Data Sheet
Metal & Thermit Corporation Chemical Division
New Jersey, N.J. E.U.A. (1957)

- 7.- The Flowing (Brightening) of Electrodeposited Tin
Technical Data Sheet
Metal & Thermit Corporation Chemical Division
Rahway, N.J., E.U.A. (1956)
- 8.- Alkaline Tin Plating With M. & T. Stannates
Metal & Thermit Corporation
General Offices Rahway
New Jersey 07075, N.J., E.U.A. (1967)
- 9.- Harkley, Klare S.
Fatty Acids, Their Chemistry, Properties, Production -
and Uses
Interscience Publishers, Inc.
New York, N.Y., E.U.A. (1951)
- 10.- Kern, Donald Q.
Process Heat Transfer
Mc Graw-Hill Book Company, Inc.
New York, N.Y., E.U.A. (1950)
- 11.- Perry, Jhon H.
Chemical Engineer's Handbook
Mc Graw-Hill Book Company, Inc.
New York, N.Y., E.U.A. (1963)
- 12.- Marks, S, Lionel
Mechanical Engineer's Handbook
Mc Graw-Hill Book Company, Inc.
New York, N.Y., E.U.A. (1958)
- 13.- National Safety Council
Accident Prevention Manual for Industrial Operations
Chicago, E.U.A. (1959)

14.- Ahmed S. El Kabbani
Insulation Thickness Estimate Simplified
Hydrocarbon Processing
Vol. 49, Núm. 3, Marzo 1970.

15.-Maron, Samuel H. y Prutton, Carl F.
Principles of Physical Chemistry
The Mc Millan Company, New York
Collier Mc Millan Limited, London (1965)