

300615

9

2ej.



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

"DISEÑO DE UNA PLANTA AUTOMATICA PARA
PROCESOS DE CINCO Y CROMATIZADO
DE PARTES AUTOMOTRICES"

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
ANGEL RODRIGUEZ GARCIA

Director de Tesis
M. C. Antonio Sierra Gutiérrez

MEXICO, D. F.

AGOSTO DE 1989

FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

INDICE

Objetivos Generales	1
CAPITULO 1	
Generalidades sobre Electrodinamica	4
CAPITULO 2	
Proceso Quimico	15
CAPITULO 3	
3.1 Barriles	25
3.2 Tanques	32
CAPITULO 4	
4.1 Equip. de Orientamiento	48
4.2 Equipos de Enfriamiento	69
CAPITULO 5	
5.1 Equipos de Agitación Mecanica	73
5.2 Sistemas de Extracción	81
5.3 Secado	93
CAPITULO 6	
6.1 Rectificación	105
6.2 Automejoración	117
CAPITULO 7	
Modulación	126
Conclusion	133
Bibliografía	134

OBJETIVOS GENERALES

En el mundo actual, un gran número de piezas industriales y ornamentales están preparadas con un recubrimiento metálico en prevención de la corrosión y que es obtenido usualmente por un electrodeposito, lo que las hace más resistentes y agradables.

En México las plantas dedicadas a estos procesos, conocidos industrialmente como galvanoplastia y galvanostegia, son de tecnología muy antigua, instaladas en forma muy rudimentaria, lo cual limita la capacidad de producción además de no poder ofrecer un nivel de calidad homogéneo y aceptable.

El objetivo de esta tesis es mostrar la forma en la que se debe diseñar y construir una planta moderna y completamente automática de recubrimientos electroquímicos de alta producción, lo que permitiría obtener piezas a bajo costo y de excelente calidad.

Para este fin se eligió como ejemplo a desarrollar una planta de electrodeposito de Cinc y tratamiento superficial de cromatizado sobre piezas automotrices involucradas en el sistema de frenado de vehiculos actuales. Estas piezas están sometidas a problemas internos de corrosión debido al paso del liquido de frenos y a corrosión exterior de un medio ambiente muy hostil con agua, polvos, grasas, etc. Este tratamiento les dará una gran resistencia, un aspecto agradable y una coloración específica para su identificación.

A pesar de la depresión de la industria automotriz mexicana en consumo local, poco a poco está abriéndose la alternativa de la exportación, especialmente al mercado de

consumo más grande del mundo, los Estados Unidos. Una de las grandes ventajas para la exportación tanto de autos como de refacciones es el bajo costo de estos en México. En el caso específico de las piezas analizadas en este trabajo, el recubrimiento metálico tiene una decisiva importancia en cuanto al costo final del producto y su durabilidad depende en forma directa de la calidad del citado depósito.

Para fines de cálculo, la planta que se va a desarrollar a continuación se encontrará ubicada en Huixquilucan, Estado de México, a escasos minutos de la capital de la República.

Se ira presentando paso a paso el diseño de cada parte y equipo involucrado en la planta de proceso, que para este ejemplo será totalmente controlada por microprocesadores.

Ahora les invito a adentrarse a este trabajo esperando despertar en ustedes interes por esta hermosa rama de la Ingeniería Química.

CAPITULO 1
GENERALIDADES SOBRE ELECTROQUIMICA

El término electroquímica, se utiliza para englobar en forma general a todos los procesos químicos que se realizan por medio de la aplicación de una determinada cantidad de corriente eléctrica.

Desde hace mucho tiempo, es conocido el hecho de que las disoluciones acuosas de ciertas sustancias, conducen la corriente eléctrica. Este tipo de compuestos reciben el nombre de electrolitos. Este tipo de experiencias, aportan la evidencia más inmediata de la existencia de iones capaces de presentar movimientos independientes. Claro, originalmente esta idea era difícilmente aceptable para los químicos, hasta apenas el siglo XIX, cuando Arrhenius estableció su postulado, que propone que al disolverse un electrolito en una disolución acuosa, se realiza una disolución electrolítica, e incluso a temperatura ordinaria, la conversión de una apreciable cantidad del electrolítico en iones.

Logicamente, esta teoría causó gran conmoción en los medios científicos de la época, que no aceptaban la idea de la disociación a no ser que ésta se realizara a muy altas temperaturas. Sin embargo, el mismo Arrhenius apoyó su teoría con la explicación a la variación observada de la conductancia con la concentración, comprobada en las disoluciones diluidas de todos los electrolitos, fue atribuida por Arrhenius a la disociación parcial del electrolito. Al suponer que se establece un equilibrio entre las moléculas no disociadas del

electrolito y los iones que se forman en la disociación, se explica por que se incrementa el grado de la disociación a medida que las disoluciones son más diluidas. Y puesto que la conductancia depende de la presencia de especies con carga eléctrica, se puede deducir una explicación cualitativa de por que aumenta la conductancia equivalente al decrecer la concentración. Estas ideas de Arrhenius le permitieron proponer un método para calcular el grado de disociación de un electrolito a partir de valores de su conductancia.

Por toda esta teoría y las subsecuentes explicaciones que ella proporciona, además de que todavía conserva su validez, se ha considerado a Arrhenius como el padre de la electroquímica, aunque ya antes muchos otros habían trabajado en este campo. Personas como Alejandro Volta, que años antes había conocido y experimentado procesos electrolíticos, habiendo llegado a su famoso descubrimiento de la pila eléctrica. Otros, como Michael Faraday, que puso los principios de los procesos que, más tarde serían explicados por la famosa teoría de Arrhenius. Mas adelante estudiaremos las aportaciones de estos pioneros de la electroquímica.

Se emplea una corriente eléctrica alterna para evitar la fijación de cargas de signo opuesto en las proximidades del electrodo, ya que aparecería así una resistencia eléctrica adicional debido al contacto metal-disolución, se ha comprobado que el proceso cumple la Ley de Ohm. De modo que, debido a esto, es posible asignar

una resistencia de varios ohms a esta celda, de la misma forma que se asigna a un conductor metálico.

Las magnitudes de resistencia y conductancia están relacionadas por una proporcionalidad inversa que permite calcular una en función de la otra, por medio de la expresión $G = 1/R$, donde R es la resistencia expresada en ohms y L la conductancia, que se expresa a veces en mhos. De la misma forma que los conductores metálicos, la resistencia y, por lo tanto, la conductancia, dependen del área transversal y de la longitud de la celda de conductividad, esto es, de la región entre electrodos. Lo mismo que para los conductores metálicos

$$R = (L / A)$$

donde R es la resistencia específica, o factor de proporcionalidad que corresponde a la resistencia de una celda de sección y longitud unitarias. De forma similar

$$L = K(A /)$$

donde K es la conductancia específica, que también se puede considerar como la conductancia de un cubo de disolución del electrolito de arista de longitud unitaria.

En cuanto a la conductancia equivalente, es una medida de transporte de la corriente por un equivalente de soluto.

Hasta ahora, hemos hablado de procesos en los que se aplica una corriente alterna, sin embargo, cuando se aplica una corriente directa, se llevan a cabo reacciones químicas en los electrodos.

Cuando se introducen dos electrodos en la disolución de un electrolito y se aplica una diferencia de potencial suficiente, que es del orden de decenas de volts, se advierte que ocurren reacciones químicas en los electrodos. Se dice entonces que se está produciendo un fenómeno de electrólisis. El electrodo que adquiere carga positiva, esto es, aquel en el que existe deficiencia de electrones al aplicarle potencial, se llama ánodo. mientras que el que adquiere carga negativa, esto es, aquel en el que existe exceso de electrones, se llama cátodo. Los electrodos consisten en dos conductores que tienen por misión introducir la fuente y el receptor de los electrones en la disolución.

Existen dos tipos fundamentales de electrodo, los reactivos y los inertes. Los primeros son los que intervienen directamente en la reacción y los segundos, formados usualmente por un conductor de platino, sólo sirven para transferir electrones a la disolución o tomarlos de la misma.

Dentro de los electrodos de tipo reactivo, encontramos diversas variantes :

Electrodos de gases -

El electrodo de hidrogeno es probablemente el más conocido y nos permite ver como las sustancias gaseosas pueden llegar a participar en las reacciones electroquímicas. Son de tal naturaleza, que en la superficie del metal inerte empleado se pueden situar los reactivos y los electrones que son aportados por el conductor metálico.

Electrodos de oxidación-reducción -

Realmente todas las reacciones en los electrodos son de tipo oxidación-reducción, pero cuando nos referimos a este tipo de electrodos formados por un metal noble sumergido en una disolución, en la cual se encuentran dos estados de oxidación diferentes de un metal.

Aunque son similares a los del tipo anteriormente mencionado, la diferencia radica en que las especies que intervienen en la reacción del electrodo son iones o moléculas, de esta forma existe la posibilidad de que el electrodo sea tanto dador como receptor de electrones.

Una cosa curiosa es que este tipo de electrodos puede formarse entre dos compuestos orgánicos, cuyas moléculas representen dos estados diferentes de oxidación. Un ejemplo conocido de esto, es el caso de la molécula conocida como hidroquinona.

Electrodo metal-iones metálicos -

Esta es el tipo más sencillo y más utilizado industrialmente en procesos de galvanoplastia y galvanostegia, debido a que el propio electrodo participa en la reacción química siendo metálico y estando sumergido en una disolución con iones del mismo metal. Un buen ejemplo sería un electrodo de placa metálica sumergido en una disolución de nitrato de plata.

Prácticamente se puede formar este tipo de electrodo con cualquier metal de actividad media, aunque no con los alcalinos, pero en general todos los necesitados en procesos industriales se pueden hacer de este tipo.

Electrodos de amalgama -

Son muy similares a los anteriores, pero en este caso el metal se encuentra en forma de amalgama, es decir, está disuelto en mercurio. El contacto eléctrico se lleva a cabo por un alambre de platino sumergido en el seno de la amalgama y aislado de la disolución.

En general, las reacciones en el electrodo son iguales que en el tipo anterior, pero los de amalgama permiten manejar metales muy activos, lo cual es una limitante para los de metal-iones metálicos.

Electrodos metal-sales insolubles -

Estos consisten en un metal de contacto con una sal insoluble del mismo, que a su vez esta en contacto con una disolución, que contiene el anión de la sal.

El electrodo de este tipo más usado es el de calomelanos (resinas), que consiste en mercurio metálico en contacto con calomelanos, que a su vez esta en contacto con una disolución de iones de la sal.

En realidad éste es un tema muy amplio y con una gran variedad de aplicaciones, sin embargo, y debido a que no es nuestro propósito realizar un trabajo sobre electroquímica, sino sobre el diseño en sí de la planta donde se llevarán a cabo estos procesos, haremos más énfasis en nuestro tema en concreto y dejaremos toda esta parte sólo como una introducción breve para personas no muy adentradas en esta rama de la química.

Es necesario que entremos ahora a una parte tremendamente importante de la electroquímica. Esto es, al conocimiento de las Leyes de Faraday. Este científico inglés del siglo pasado dedujo de sus experimentos sobre los efectos de la corriente eléctrica en las reacciones químicas, dos importantes principios.

La primera ley nos dice que la cantidad de una sustancia

que se desprende o se deposita por efecto de la corriente eléctrica es directamente proporcional a la intensidad y a la duración de dicha corriente.

La segunda ley nos dice que la cantidad de un elemento que se deposita o que se desprende es directamente proporcional al equivalente electroquímico de dicho elemento.

Analicemos ahora un poco los enunciados anteriores. El primero de ellos nos explica que las variables fundamentales de un proceso electroquímico, son la intensidad de corriente y el tiempo en el que se aplica la misma. Pero del segundo enunciado obtenemos que el equivalente electroquímico es el tercer factor involucrado para conocer la magnitud del depósito. Combinando todo esto, llegamos a una expresión similar a ésta

$$M = eIt$$

donde M es la masa depositada, e, es el equivalente electroquímico, I, es la intensidad de corriente, y t, es el tiempo del proceso.

Desde luego cuando hablamos de intensidad de corriente, nos estamos refiriendo a la cantidad de carga eléctrica aplicada en un tiempo determinado.

Con respecto al equivalente electroquímico, es el que se

libera cuando se hace pasar un culombio de electricidad, o un amperio por segundo.

Este equivalente electroquímico, que está fijado para cada elemento, está íntimamente relacionado con el equivalente químico, de hecho, se pueden calcular a través de éstos. Sabemos ahora que el equivalente químico equivale a 96500 equivalentes electroquímicos. El equivalente químico es el peso atómico del elemento dividido por el número de valencia que cambia en una reacción de oxidación o reducción.

A continuación se presenta una tabla con algunos de estos equivalentes electroquímicos, que fue tomada del libro "Análisis Electroquímicos" del Dr. Pedro Joseph-Nathan de Ed. Anúes, 1975, pp. 41.

Cobre	0.0003292	Oxígeno	0.0000829
Cromo	0.0001796	Plata	0.0011180
Hidrógeno	0.0000104	Plomo	0.0010735
Magnesio	0.0001260	Potasio	0.0004052
Níquel	0.0003042	Sodio	0.000382
Oro	0.0006804	Cinc	0.0003387

Existen muchas aplicaciones prácticas de la electrólisis, por este motivo se realizan en la actualidad gran cantidad de análisis cuantitativos y cualitativos. Además se obtienen industrialmente algunos metales como el sodio, el potasio y el calcio, y algunos compuestos como la

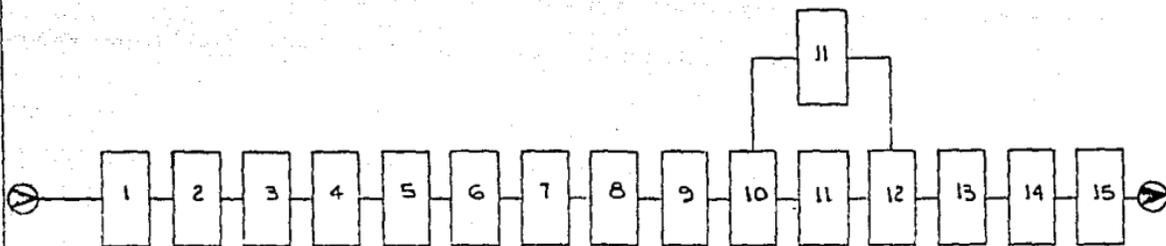
sosa, el agua oxigenada, etc.

Sin embargo, la aplicación que más nos interesa en este trabajo es la concerniente a dos técnicas industriales muy propagadas en todo el mundo. Nos estamos refiriendo a la galvanoplastia y a la galvanostegia. En la galvanoplastia, la corriente eléctrica se emplea para depositar algunos metales, como cobre, plata, oro, etc. sobre moldes de cera, de arcilla o de plástico, que se recubren con una capa de grafito y se colocan como cátodos en celdas electrolíticas en las que se usa como ánodo una placa del mismo metal que se desea depositar y como electrolito, una solución de una sal del mismo metal. En la galvanostegia, lo que se hace es recubrir alguna pieza de un metal con otro metal para darle mayor resistencia y una presentación más agradable.

El propósito de este trabajo es presentar la forma de diseñar una planta automática para procesos de galvanostegia, cuya secuencia específica veremos en el siguiente capítulo.

Algunos factores importantes para un buen electrodeposito se consideran también en los capítulos siguientes.

CAPITULO 2
PROCESO QUIMICO



- 1.- CARGA Y DESCARGA
- 2.- DESENGRASE
- 3.- ENJUAGUE
- 4.- DESENGRASE ELECTROLITICO
- 5.- ENJUAGUE DE CASCADA
- 6.- ACTIVACION ACIDA
- 7.- ENJUAGUE DE CASCADA
- 8.- CINC
- 9.- RECUPERADOR
- 10.- ENJUAGUE DE CASCADA
- 11.- CROMATIZADO
- 12.- ENJUAGUE
- 13.- ENJUAGUE DE CASCADA
- 14.- ENJUAGUE CALIENTE
- 15.- SECADO

UNIVERSIDAD LA SALLE	
FIG. 1 SECUENCIA DEL PROCESO	
TESIS PROFESIONAL	
1987	ANGEL RODRIGUEZ

El objetivo de este proceso es la preparación, cincado y cromatizado de conexiones de mangueras automotrices, que de no ser tratadas de esta forma tendrían poca resistencia a la oxidación.

Cada paso del proceso se va a ir tratando en forma particular y en la secuencia de éste. Debido a la producción requerida y al tamaño de las piezas, se eligió el método de electrodeposición en barril, que más adelante estudiaremos, lo cual fijó los tiempos de proceso para cada paso.

Para este estudio, se han considerado tiempos determinados en forma experimental y que actualmente se utilizan en varias empresas.

Ya que la pieza ha sido trabajada en varias máquinas, se encuentra sucia, especialmente de aceites y residuos metálicos.

El primer paso de nuestro proceso es un desengrase. Este tipo de baño, está compuesto de tensoactivos y alcalinos y trabaja a una temperatura aproximada de 80° C. El propósito de este tratamiento es dar una limpieza a las piezas, quitándoles la grasa y suciedad que llevan, ya que los compuestos del baño suelen ser afines con la mayoría de los aceites solubles en agua y deben tener una baja tensión superficial. La alta temperatura ayuda al desprendimiento y solubilidad de las grasas, que de cualquier manera quedan

flotando en la superficie del tanque, lo que facilita la limpieza y mantenimiento del baño.

Después de este desengrase, pasamos las piezas a un enjuague con agua, a temperatura ambiente. En esta etapa del proceso, se busca quitar parte de la suciedad que haya quedado, junto con solución del baño anterior, que podría representar cierta contaminación para el tratamiento posterior. El agua se esta circulando todo el tiempo para mantenerla siempre limpia. Normalmente, se provee a este baño de aire de agitación, lo cual permite que el agua se introduzca por todos los recovecos de las piezas y además junto con la circulación de agua, no permite una alta concentración de contaminantes en los alrededores de las piezas, lo que neutralizaría el efecto del enjuague. Un tiempo de inmersión de 30 segundos es suficiente para este paso.

A pesar de todo, quedan algunas manchas, costras de grasa y algunos aceites difíciles de remover, por lo que es necesario proceder a un desengrase electrolítico. Este baño también es de carácter alcalino, libre de fosfatos, pero en este caso se aplica corriente, lo cual hace que la limpieza sea más profunda. Es necesario aplicar electricidad con una densidad de corriente de 2.5 a 3.5 Amp/dm² de superficie. También es importante que la temperatura del baño sea entre 70° y 90° C, lo cual facilitará la limpieza.

Posteriormente las piezas pasarán a un enjuague de cascada para limpiar las impurezas que hayan podido quedar. Este tipo de enjuague consta de dos estaciones consecutivas con diferente nivel de agua para que una rebose en la otra y aprovechemos agua más limpia sobre agua más contaminada. La temperatura es ambiente y se mantiene flujo constante.

Podría parecer un proceso muy sofisticado para limpiar las piezas, pero la calidad del depósito de cinc, depende directamente de la limpieza previa, por lo que vale la pena dedicar varios baños a esto.

Pasamos después a una activación ácida, donde las piezas se preparan para recibir el depósito de cinc.

La función principal de esta activación ácida es neutralizar la solución básica de las piezas que fueron tratadas en pasos anteriores por medios alcalinos. Para este fin se utilizan ácidos muy diluidos, tales como el sulfúrico, clorhídrico, fluorhídrico o cítrico. Después de la activación, viene un enjuague para limpiar las partes y dejarlas listas para el electródposito de cinc.

Teniendo ya las piezas listas, llegamos al baño de electrodepósito de cinc.

El hecho de depositar cinc sobre estas piezas, les va a proveer de protección a la corrosión necesaria para soportar

unas condiciones de trabajo difíciles. Como es lógico, esta protección a la corrosión esta en función de la capa depositada.

Otra ventaja de este depósito es que prepara la superficie para ser cromatizada, lo cual proveerá a la pieza de una protección adicional contra el llamado "óxido blanco", y le dará una apariencia agradable.

Existen en el mercado varios procesos de cincado electroquímico, los más conocidos son: el cincado ácido, el alcalino de bajo cianuro y el alcalino de alto cianuro.

En este caso se seleccionó un proceso alcalino de bajo cianuro. La explicación para esto es que es un proceso fácil de controlar desde un punto de vista químico. Realmente el electrodepósito más eficiente es el de cinc ácido. Sin embargo requiere de una superficie extremadamente limpia antes del electrodepósito, además de estar bien activada. Todas las variables del proceso, tales como la temperatura, filtración, agitación, etc, deben estar muy bien controladas. Pero tal vez lo que hace menos popular este proceso es el estricto control químico que requiere. Por otro lado, no se recomienda para piezas soldadas, ya que esta se vería debilitada.

El proceso de cinc de alto cianuro es muy peligroso en cuanto a los altos niveles de contaminación que se manejan.

Estas causas han hecho que el proceso de bajo cianuro se haya popularizado mucho, especialmente en México. En efecto, es menos eficiente que el ácido, pero compensa ésto con un menor control químico y con una gran versatilidad de piezas tratables, lo que le ha hecho el favorito de la mayoría de la gente involucrada en esta industria.

La formulación general para este tipo de baño es :

	Concen(g/l)
Cinc	7.5 - 25
Cianuro de Sodio #	7.5 - 30
Hidróxido de Sodio	75 - 105
Agente de Adición	Necesario
Densidad de Corriente	186 - 740 Amp/ dm ²
Anodos de Cinc de 99.99 % de pureza.	

Para esta etapa de nuestro proceso, vamos a necesitar de 50 minutos. Es la parte más larga y que va a funcionar como nuestra limitante de diseño.

Este depósito se realiza a temperatura ambiente, por lo que no debe rebasar los 30° C de temperatura. Más adelante se explicará la necesidad de un equipo de enfriamiento, ya que las reacciones electroquímicas son siempre exotérmicas.

Vamos a necesitar además de una recirculación y filtrados continuos de la solución.

Después del depósito de Cinc, las piezas pasan a una estación de recuperación. Esto tiene por objeto, recuperar la solución de cinc que es arrastrada por las piezas. Poco a poco la concentración en este tanque va aumentando, hasta que, con sólo unas adiciones, se puede utilizar en el tanque de Cinc. Esto nos trae un gran ahorro de productos químicos, que implican una parte importante de los costos de operación.

Posteriormente, necesitamos otro enjuague de cascado para eliminar residuos de la solución de cinc y dejar las piezas listas para el proceso de cromatizado.

A continuación tenemos tres tanques de cromatizado, cada uno para un diferente color y con tanques de enjuague entre ellos para evitar la contaminación de color por escurrimiento de las piezas que pasan sobre las tinas restantes.

El cromatizado se lleva a cabo en varios metales por tratamientos químicos o electroquímicos con mezclas de cromo hexavalente y otros compuestos. Estos tratamientos convierten la superficie metálica a una capa superficial que contiene una compleja mezcla de compuestos de cromo.

La apariencia de la capa de cromato puede variar, dependiendo de la formulación del baño, del metal base y de

algunos parámetros de proceso.

La mayoría de las películas de cromatos son suaves y gelatinosas cuando se acaban de formar. Una vez secas se van endureciendo lentamente, se hacen hidrofóbicas, menos solubles y más resistentes a la abrasión. Un calentamiento prolongado a unos 150° F puede producir una excesiva deshidratación de la película con la consecuente reducción de su valor protector. El espesor de la capa raramente excede 0.00127 mm.

Se puede obtener una variada gama de colores con este proceso, aunque en este caso, solo se usarán el amarillo, conocido como tropicalizado, el azul y el verde.

La conversión del recubrimiento a cromato, puede proveer de una resistencia a la corrosión excepcionalmente buena. La protección se debe al efecto inhibitor del cromo hexavalente contenido en la película y la barrera física presentada por la película misma.

El grado de protección es normalmente proporcional al espesor de la película. El color implica además, el grado de protección, siendo el de menor grado el iridiscente y el de mayor grado el verde olivo.

La resistencia eléctrica de contacto en las piezas tratadas es considerablemente menor que en superficies no

protegidas.

En la mayoría de las películas que se forman por la reacción química de cromo hexavalente con una superficie metálica en presencia de otros compuestos o "activadores", en solución ácida. El cromo hexavalente se reduce parcialmente a cromo trivalente durante la reacción, formando una mezcla compleja que básicamente consiste de cromo básico hidratado, cromato y varios óxidos incluido el de cromo y del metal base.

En un cromatizado sobre una superficie de Cinc, la película puede ser afectada por impurezas que se codepositen con el Cinc. Por ejemplo, cadmio disuelto y algunos otros que pueden causar oscurecimiento en la capa de cromatizado. Este es otro de los motivos para tantos enjuagues y limpiezas previas.

En este proceso, el tiempo no es importante, pues con sólo 30 segundos es suficiente para la reacción, que además, no requiere electricidad.

Entre cada tanque de cromatizado, se necesita un enjuague, ya que de no hacerlo se contaminarían los colores de los siguientes cromatizados.

Después de este proceso, necesitamos nuevamente de un enjuague de cascada para limpieza de las piezas que después

serán sometidas a un enjuague caliente a aproximadamente 70° C. Este enjuague no daña a la película a pesar de la temperatura, pues al estar las piezas sumergidas en agua, no se deshidratan.

Por último, las piezas serán secadas con un proceso independiente de la línea de depósito, que será analizado en capítulos posteriores.

CAPITULO 3

3.1 BARRILES

Las piezas sobre las cuales se va a depositar algún metal, deben estar en contacto con una fuente de corriente eléctrica. Sobre los tanques de proceso, se colocan soportes de bronce que se han conectado eléctricamente a los rectificadores, que son los suministradores de la corriente directa para el proceso. Pero es necesario que las piezas estén en contacto con estos soportes. Para esto existen varias opciones, dependiendo del proceso, tamaño y tipo de pieza. En ocasiones, es conveniente colocar una barra de cobre donde van soportadas las piezas en cuestión, pero en este caso sería imposible, ya que necesitamos una muy alta producción y el tamaño es realmente pequeño. Para estas situaciones, lo más apropiado es el manejo a granel en el interior de cilindros de plástico, comúnmente denominados barriles.

Existen barriles de diversos materiales, sin embargo, en la actualidad los más utilizados son de Acero Inoxidable, para los procesos de fosfatizado, y de plásticos entre los que destacan el polietileno y el polipropileno. Debido a que necesitamos manejar cargas considerables de piezas, vamos a considerar barriles de polipropileno, ya que este material es mucho más resistente desde un punto de vista mecánico.

Estos barriles, deben tener las paredes bastante perforadas para de esta manera permitir la entrada de la solución y que entre en contacto con las piezas.

El contacto eléctrico se consigue a través de unos pernos de cobre que se asientan en los soportes de los tanques previamente electrificados. Unos cables de cobre se

conectan desde los pernos para introducirse en el barril y transmitir la corriente eléctrica a las piezas.

Es necesario que el cilindro esté rotando permanentemente para que el depósito sea uniforme. Esto se consigue con un juego de engranes sincronizados a un motorreductor que lo hace girar. Existen barriles que llevan el motor instalado en ellos mismos y otros que van colocados en la parte lateral de los tanques, de manera que al llegar el barril a la tina, el engrane del motorreductor comienza a mover el cilindro. En esta ocasión, es conveniente el segundo método, para que la línea pueda ser completamente automática, ya que si el barril es motorizado es necesario conectarlo en cada estación. Se pueden ver todos los detalles del diseño mecánico en los dibujos anexos que pertenecen a un tipo de barril patentado que existe en el mercado.

El primer dato importante para calcular estos equipos, es la producción que se pretende obtener en esta planta, que es de 14,000 Kg por día. Se va a considerar un ciclo de producción de dos turnos diarios de ocho horas cada uno.

El segundo dato importante es el del volumen de las piezas con las que vamos a trabajar, que es de 0.05 dm³, con un peso de 70 gramos.

Conforme a los datos anteriores y considerando que los tamaños de los barriles están estandarizados, debemos suponer un volumen dado y ver qué nos conviene.

En este caso, vamos a tratar con un barril de 16" x 30", (4.064 dm de diámetro, 7.62 dm de longitud).

Para obtener el volumen del barril, vamos a considerar que es un cilindro perfecto, aunque esto no es completamente cierto.

$$\text{Area base del barril} = \pi r^2 = (4.064/2)^2 \pi = 12.97 \text{ dm}^2$$

$$\text{Volumen del barril} = 12.97 \text{ dm}^2 \times 7.62 \text{ dm} = 98.84 \text{ dm}^3$$

Debemos considerar la productividad, esto es, la cantidad de metal que se deposita sobre las piezas en un periodo dado de tiempo. Los factores involucrados son la cantidad total de corriente y la eficiencia del barril

La corriente total depende de las características de la solución, la forma y área de los ánodos, la temperatura del baño, el voltaje del tanque, la construcción del barril y el tamaño de la carga.

Las características importantes de la solución son su resistividad específica, su habilidad para corroer los ánodos con una pérdida mínima de polarización anódica y su eficiencia catódica. Las soluciones para electrodepósito de cinc en barril usualmente tienen una proporción más alta de cianuro/metall que en las usadas en depósito en colgado. Debemos recordar que la resistencia de la solución depende parcialmente de su contenido de cianuro libre.

Un peligro para soluciones como la de nuestro proceso de cinc, es el de explosiones en el barril, que son causadas cuando el nivel de la solución es demasiado bajo y el hidrógeno desprendido se combina con el oxígeno del aire

dentro del cilindro y es encendido por una chispa. Esta puede salir del trabajo, del contacto catódico o de los engranes.

La mayoría de las explosiones ocurren cuando hay poco metal, cuando el nivel de cianuro libre es alto o cuando las perforaciones del barril están tapadas o son insuficientes. Es muy importante que las caras del cilindro estén adecuadamente barrenadas para permitir tanto el paso de la solución hacia el interior, como la salida de los gases. El diámetro de las perforaciones y la cantidad de las mismas marcan el porcentaje de zona perforada, que debe ser tan alto como sea posible.

El barril debe moverse en forma rotacional sobre su eje con el objeto de que todas las piezas puedan estar en contacto con la solución y recibir un depósito similar, para obtener un espesor uniforme en las piezas. Por este motivo, el cilindro jamás deberá llenarse a más de la mitad de su volumen.

Esto nos lleva a considerar como volumen útil del barril, a la mitad del volumen real del cilindro, o en nuestro caso:

$$\text{Volumen útil} = 98.84 \text{ dm}^3 / 2 = 49.42 \text{ dm}^3$$

Si consideramos que el volumen de la pieza es 0.05 dm^3 , tenemos que la capacidad del barril es :

$$\text{Capacidad del barril} = 49.42(\text{dm}^3/\text{barril}) / 0.05(\text{dm}^3/\text{pieza}) = 988 \text{ piezas}$$

Nuestra producción en peso, equivale a 14.000 Kg/día

Sabiendo que el peso promedio de las piezas es de 79 gramos.

Capacidad del barril = 982 piezas x 0.07 gramos/pieza = 69.2 Kg

que es un peso razonable para el cilindro.

Si suponemos dos turnos de producción, para un total de 15 horas efectivas, entonces

Producción por hora = 14.000 Kg / 15 horas = 933.3 Kg/Hora

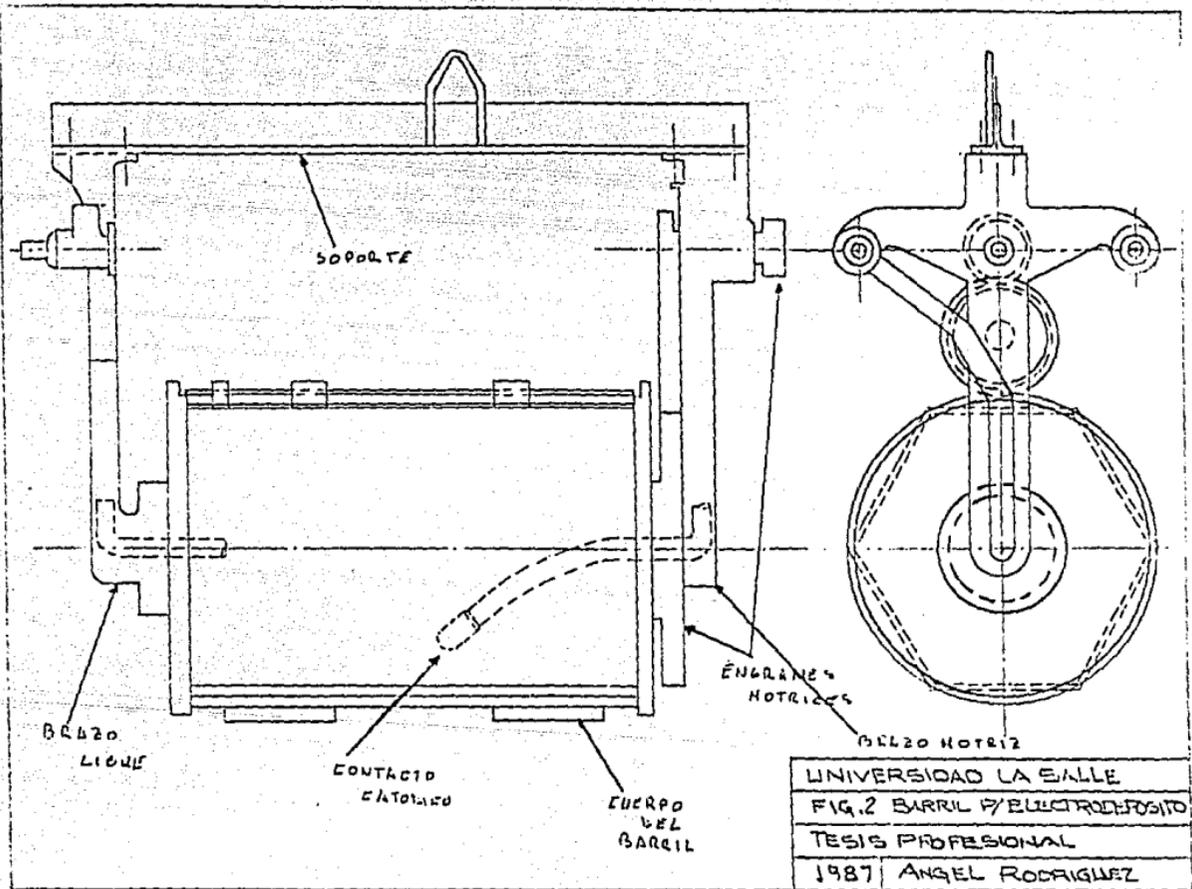
Barriles por hora = 933.3(Kg/h)/69.2(Kg/bar) = 13.5 bar/hr

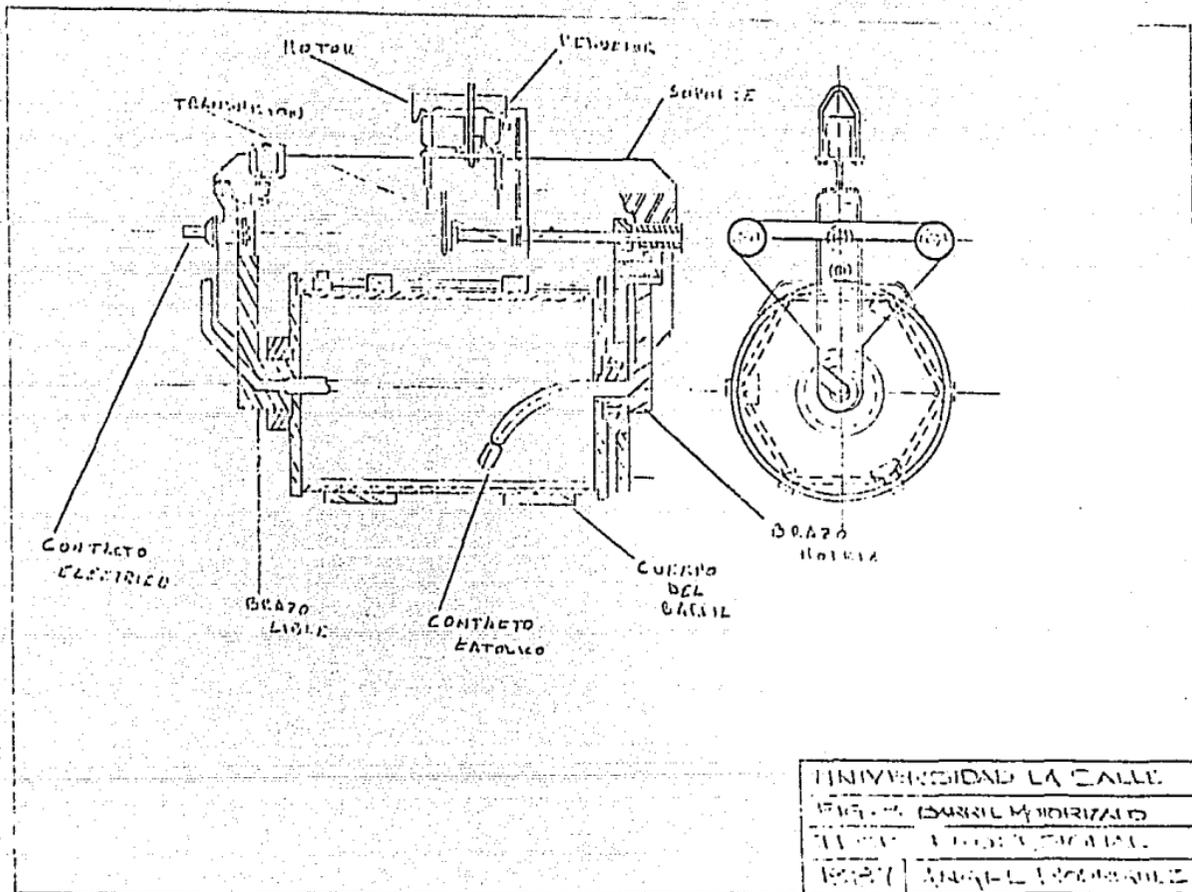
Tiempo entre cargas = 60(min/h)/13.5(bar/h) = 4.44 min/bar

Otro factor importante en la eficiencia del barril es la temperatura del baño. Puede variar si no se controla cuidadosamente. Si consideramos que un proceso electroquímico produce calor, a veces en cantidades mayores de lo que se puede disipar por la superficie del tanque, la resistividad de la solución se decrementa así como la polarización anódica. Normalmente esto se soluciona con equipo de

calentamiento y enfriamiento, como más tarde veremos.

Es necesario considerar el voltaje del tanque, que es uno de los más importantes factores. Normalmente se suelen operar los barriles a 12 volts, sin embargo para soluciones de cinc alcalino de bajo cianuro, el caso que nos ocupa, se aplican voltajes entre 15 y 18 volts. Debemos recordar que a un mayor voltaje, mayor consumo de químicos y mayor necesidad de enfriamiento.





UNIVERSIDAD LA CALLE	
FACULTAD DE INGENIERIA	
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD	
2021	ANGEL ESCOBAR

3.2 TANQUES

Los tanques o "tinajas" de proceso son una parte vital en los procesos electroquímicos, ya que albergan las sustancias necesarias para las diversas reacciones y a la vez sirven como reactores ya que las piezas son sumergidas en ellos.

La primera parte del diseño de los tanques emana directamente del proceso mismo y los tiempos de residencia en cada etapa. En este caso sabemos que, debido a la tasa de producción, el tiempo entre cargas es de 4.45 minutos, como ya se calculó en el capítulo anterior. Lógicamente, si un barril debe permanecer en alguna etapa del proceso durante un tiempo mayor que el que hay entre cargas, debemos pensar en un tanque que pueda albergar más de un barril. Este es el caso del proceso de electrodeposición de cinc, que dura 50 minutos. Debemos pues, dividir los 50 minutos entre el tiempo de cargas, lo que nos resulta 11.23, o lo que es lo mismo, necesitamos albergar doce barriles en forma simultánea.

Un tanque para albergar doce barriles al mismo tiempo mediría más de nueve metros, lo cual sería terriblemente impráctico por varios motivos. El primero es que es un tanque muy largo para construir y transportar, además de lo cual, implicaría que de necesitar una reparación, situación frecuente en este tipo de plantas, la línea completa estaría detenida. Sin embargo, si utilizamos varios tanques con sus sistemas complementarios independientes (serpentines de calentamiento y enfriamiento, rectificadores, etc), podemos reparar conservando aún un 30 % ó 60 % de la capacidad total

de la línea. Todo esto nos da una gran versatilidad en la operación de la planta.

Los tanques de enjuague de cascada, tienen también dos estaciones, pero en este caso están separadas por una pared divisoria que permite que la cascada se efectúe.

Una vez determinado el número de tanques, que en este caso es de diecisiete y una estructura de carga y descarga, se debe proceder a analizar el orden de los tanques. Se podría pensar que el orden lógico es el de la secuencia del proceso, lo cual es cierto para plantas manuales con simplicidad del operador, pero en el caso de una línea automática, esto no se cumple.

En este punto debemos tomar tres parámetros fundamentales, que son : la secuencia del proceso químico, los tiempos de proceso en cada tanque y por último los movimientos que deben realizar los transportadores de barriles. Al combinar estos tres parámetros, podemos obtener el orden ideal de los tanques en la línea. El proceso de optimización del movimiento de la grúa con respecto al proceso químico se realiza a través de un análisis de tiempos y movimientos que no vamos a analizar en este trabajo, ya que para este proceso el orden de los tanques es conocido y en la actualidad se manejan en varias plantas de este tipo.

El orden de los tanques físicamente será :

- 1- Carga y descarga
- 2- Enjuague de agua caliente
- 3- Enjuague de agua fría
- 4- Cromatizado de color verde
- 5- Enjuague de agua fría
- 6- Cromatizado de color amarillo
- 7- Enjuague de agua fría
- 8- Cromatizado de color azul
- 9- Desengrase alcalino
- 10- Enjuague de agua fría
- 11- Desengrase electrolítico
- 12- Enjuague de agua fría
- 13- Activación Ácida
- 14- Enjuague de agua fría
- 15- Enjuagua de cascada
- 16- Cinc
- 17- Cinc
- 18- Cinc

El colocar los tanques de cinc al final obedece a que el tiempo de residencia es el más largo de todo el proceso y además nos ofrece la posibilidad de expandir ligeramente la línea aumentando la producción y añadiendo tan sólo otro tanque.

Una vez determinado el orden, debemos comenzar a pensar en las dimensiones de cada tanque. Podemos agruparlos en

cinco categorías generales :

- 1- Tanques de enjuague
- 2- Tanques de desengrase
- 3- Tanques de enjuague de cascada
- 4- Tanques de proceso químico
- 5- Tanques de proceso electroquímico

Cada uno de estos grupos tiene características específicas que van a afectar sus dimensiones.

Existen varios materiales que se utilizan en la industria de galvanostécnia, entre ellos el acero, acero inoxidable, madera, polietileno, polipropileno, etc. De entre todos ellos, el acero es el más comúnmente usado debido a que puede albergar un gran número de soluciones y puede ser recubierto de materiales plásticos para de esta forma ser útil para prácticamente cualquier baño. Además es un material económico, su fabricación no es muy especializada y tiene una gran resistencia mecánica.

Hay otros materiales que están cobrando gran auge en la actualidad, como el polipropileno reforzado y el acero inoxidable. Otros como el acrílico, fibra de vidrio y polietileno son muy frágiles.

Usualmente las tinas se construyen de forma rectangular o cuadrada de superficie abierta. En la parte superior tienen

un labio que normalmente es de 2" (50.8 mm) y que se forma doblando el borde del tanque 90°. Este labio sirve como un refuerzo, además de servir como base para los soportes donde se asientan los barriles.

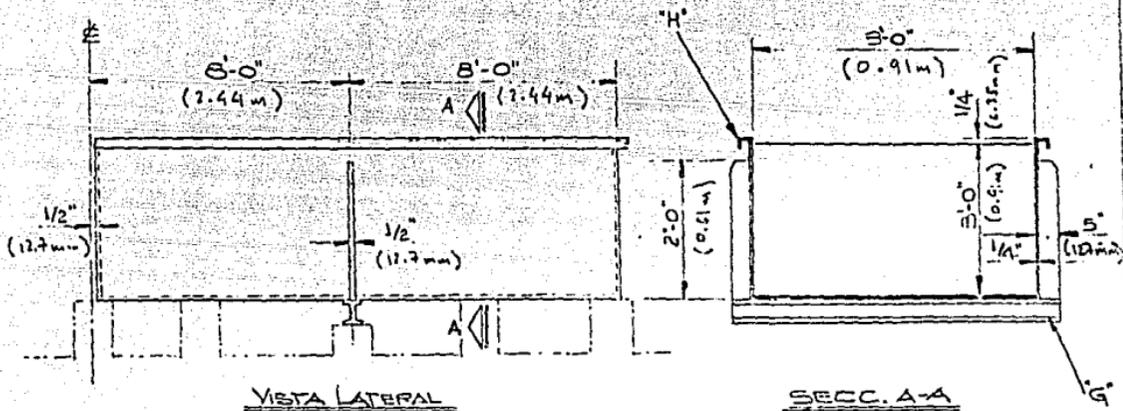
El primer grupo o de enjuague, comprende tanques que van a albergar agua fría o caliente. Para procesos en colgado, es necesario calcular el tamaño de la tina en función de las piezas colgadas, sin embargo, en el caso de barriles, existen tamaños predeterminados para cada tamaño determinado de barril. Así, para un tanque de enjuague en un cilindro de 16"X30" (406.4X762 mm), la profundidad o altura es de 36" (914.4 mm), el ancho que es de toda la línea es de 44" (1117.6 mm) y el largo es de 36" (914.4 mm). En el caso de tinas de enjuague, se coloca un rebosadero superior, que en forma práctica podríamos describir como un canal, donde se desborda el volumen de agua desplazada al introducir el barril. Este rebosadero puede tener un tamaño muy variado, dependiendo de la carga que se vaya a introducir en la tina. Por ejemplo, en el caso de tablillas de circuitos impresos, un rebosadero de 2"X2" (50.8 mm.) es suficiente, sin embargo en nuestro caso necesitamos algo bastante más grande, por ejemplo 6"X4" (152.4 mm. x 101.6mm.) de altura. Este rebosadero debe estar colocado en el ancho de la tina y puede ser interno o externo, dependiendo básicamente del gusto de quien lo diseña. Usualmente, en el enjuague de agua fría, se permite que una corriente de agua exterior proveniente del cabezal de alimentación de la línea esté provocando un

Tabla I del Capítulo 3.2

Ancho: Pez. Abto. \ Pez. Pez.	2	3	4	5	6	7	8
2		SIN					
3		REFUERZOS					
4			1-4"-5.4"				
5							
6							
7		2-4"-5.4"					
8					1.4"x5.4"		
9				1.5"x6.7"			
10				Fondo			

Revisar refuerzos

HANSON-VAN WINKLE-MUNNING, CO.
MANHATAN, NEW JERSEY.



H" & DE 2" x 1/4" (REFUERZO)
 G" IPR DE 1" (SOPORTE)

UNIVERSIDAD LA SALLE	
FIG. 4 DISEÑO MEC. DE TAJQUES	
TECNO PROFESIONAL	
1957	ALFREDO RODRIGUEZ

desbordamiento constante y con esto, se consigue una mayor limpieza en el agua.

Con las medidas del tanque, vamos a la tabla de espesores y encontramos que para una tina de estas dimensiones, 3/16" (4.76 mm.) de espesor en placa de acero es suficiente, además al consultar la tabla de refuerzos, encontramos que no requiere ni refuerzos transversales ni perimetrales.

Tenemos cinco tanques de este tipo, más adelante veremos que algunos de ellos tienen que ser recubiertos.

El segundo grupo o de desengrase, albergará soluciones alcalinas y también debe tener rebosadero, aunque en este caso el largo va a ser distinto que en los enjuagues, pues debemos pensar que en el desengrase electrolítico se deben colocar barras catódicas para que al efectuarse el paso de corriente, las grasas o aceites que puedan estar adheridos a las piezas se desprendan. En este caso el cátodo (polo donde se realiza el depósito) no son las piezas sino las barras y el ánodo son las piezas.

Con nuestras medidas acudimos de nuevo a la tabla de espesores donde encontramos que el ideal es de 3/16" (4.76 mm.) para las paredes y de 1/4" (6.35 mm.) para el fondo. Sin embargo en la tabla de refuerzos encontramos que debido al aumento en el espesor del fondo, no se requieren ya

refuerzos de ningún tipo.

Tenemos tan sólo dos tanques de este tipo en toda la línea.

El tercer grupo o de enjuagues de cascada va a contener agua fría y tiene una construcción particularmente curiosa. Para poder comprender su construcción debemos entender primero su funcionamiento. La tina está dividida en dos partes de tamaños similares, la primera de ellas (donde primero entra el barril) tiene un rebosadero y es donde está el agua más contaminada, pues es donde las piezas entran directamente después de algún proceso. Allí las piezas sufren su primer lavado, para pasar después al segundo compartimento del tanque donde hay agua más limpia, ya que es donde está la alimentación, y además las piezas entran menos contaminadas. Este agua con baja contaminación rebosa en forma de cascada sobre el primer compartimento donde disminuye la concentración de contaminantes y obliga a que se desborde parte del agua más contaminada al rebosadero.

Por todo lo explicado, resulta lógico suponer que la medida de la tina sería el doble que la de un enjuague convencional, pero debido a que uno de los compartimentos no tiene rebosadero, la medida de largo es de 66" (1676.4 mm).

En este caso al referirnos a la primera figura obtenemos un espesor de placa de acero de 3/16" (4.76 mm.) en las

paredes y de 1/4" (6.35 mm.) en el fondo y tampoco requiere de refuerzos, según la segunda figura.

Tenemos tan sólo dos tanques de este tipo en toda la línea.

El cuarto grupo o de proceso químico, va a albergar diferentes sustancias. Tenemos tres tanques de cromatizado, donde la superficie recién depositada de cinc va a sufrir una transformación química que le va a conferir una mayor resistencia a la corrosión y una apariencia más agradable, a la vez que una forma más sencilla de identificación visual.

Tenemos un tanque de activación ácida, donde la pieza después de haber recibido procesos alcalinos de limpieza, va a ser pasivada y preparada para recibir la capa de depósito de cinc.

Tenemos también un tanque de recuperación. En este paso lo que se pretende es por medio de un enjuague limpiar las piezas que salen del proceso de cinc, pero debido a que arrastran una gran cantidad de esta sustancia, resulta económico recuperar esta solución para enviarla más tarde nuevamente al tanque de proceso. Obviamente no se deja correr agua a este enjuague y no hay rebosadero, porque el objetivo es no dejar ir a la solución de cinc. En algunas líneas este tanque recuperador está conectado a un sistema de recuperación de solventes por destilación, para recuperar

agua limpia para los enjuagues y regresar la solución de cinc concentrada al tanque de proceso.

La constante en todas estas tinas es que no tienen rebosadero y no llevan conexiones eléctricas lo que permite que el tanque sea más pequeño, teniendo un largo de tan sólo 30" (762 mm).

Cuando vamos con estas medidas a las mencionadas figuras encontramos que un espesor de placa de acero de 3/16" es suficiente para las paredes y el fondo y que no requieren refuerzos.

El quinto grupo o de proceso electroquímico, albergará la solución de cinc alcalino dé bajo cianuro y debe tener un rebosadero, aunque en este caso, éste es un compartimento anexo al tanque con la misma profundidad que éste y 24" (609.6 mm) de longitud. El gran tamaño de este rebosadero se debe al volumen también grande del tanque que mide 158" (4267.2 mm). Esta tina albergará cuatro barriles simultáneamente y las correspondientes barras anódicas con sus respectivas canastillas. El cátodo en este tanque es el barril y las piezas que lleva adentro y es donde se depositará el metal deseado.

Con las dimensiones del tanque acudimos a la figura adecuada que nos dice que debemos utilizar placa de acero al carbón de 1/4" tanto en las paredes como en el fondo. La

segunda figura nos indica que vamos a necesitar un refuerzo transversal para dar una mayor seguridad al tanque y no permitir que las paredes se pandeen a causa de la longitud de las mismas.

Todos los tanques deben estar equipados con salidas bridadas tanto en el fondo como en los rebosaderos, que será de 2" (50.8 mm.) como más adelante veremos.

Otro detalle muy importante es el soldar en las cuatro esquinas del tanque unas pestañas de acero de igual espesor al del tanque con un orificio de aproximadamente 1-1/2" (38.1 mm.). Estas pestañas van a servirnos para fijar los tanques a las bases de acero, de las que hablaremos más adelante, con tornillería de Acero Inoxidable tipo 316.

Como veremos más adelante, los tanques serán alineados y fijados a las bases dejando 1" (25.4 mm.) de separación en cada lado. El objetivo de esto es poder mover los tanques en caso de requerir algún tipo de reparación o sustitución total, pero esta situación nos acarrea un problema, pues los barriles al ser levantados arrastran un volumen considerable de solución que va goteando sobre los tanques y cae en el espacio que hay entre ellos, con lo que en un tiempo tendríamos un encharcado entre las bases que resulta difícil de limpiar y que acorta la vida del piso, del fondo de los tanques y de las bases. La forma de resolver el problema es colocar unas placas de PVC rígido en los espacios y con un

ligero desnivel hacia el tanque del cual saldrá el barril. Estas piezas son conocidas como "escurrideras".

Algunos tanques serian atacados por las soluciones que contienen, por lo que hay que pensar en un recubrimiento interior anticorrosivo. Existen diversos materiales tales como el hule natural, neopreno, PVC (Cloruro de Polivinilo), etc.

El recubrimiento más ampliamente utilizado es el PVC, ya que practicamente es compatible con cualquier sustancia y es fácil de instalar. En este caso, será necesario poner este recubrimiento en los tanques de cromatizado, enjuagues entre éstos, activación ácida y el siguiente enjuague y enjuague de cascada, recuperador y tanques de cinc.

El primer paso para la instalación del PVC flexible en un tanque de acero al carbón es una limpieza de la superficie con un chorro de arena a presión, que además de limpiar dejará un acabado de microdentado que favorece la adhesión del pegamento y de la lámina de PVC. El espesor que las empresas de este ramo recomiendan es de 3/16" (4.76 mm.) en el fondo y de 3/32" (2.38 mm.) en las paredes del recipiente. Es importante que el recubrimiento doble el labio del tanque para prevenir la corrosión. En algunos casos, se coloca un doble fondo del recubrimiento con un espacio entre ambos para amortiguar los golpes de piezas o accesorios que pudieran caer. Para este ejemplo no lo necesitamos, pues como las

piezas van en el barril es muy poco probable que esto ocurra. Para otros tanques de diferentes materiales, la instalación es distinta, resultando practicamente una bolsa fijada con tornillos.

Después de pegar el recubrimiento, se colocan tiras de PVC en las esquinas y se refuerzan las esquinas del laioo utilizando pegamento y flexibilizando este material con aire caliente.

La parte exterior de los tanques debe ser cubierta con pintura epóxica anticorrosiva.

Un importante accesorio de los tanques son los soportes sobre los que descansan los pernos de contacto del barril. Para los casos de tanques donde no hay paso de corriente, estos soportes serán de plástico, mientras que en las tinas electrificadas, estarán contruidos de bronce. En el capitulo de electrificación se explicará como calcular estos soportes. Todos ellos se fijan a los tanques por medio de tornilleria de Acero Inoxidable tipo 316, aislándolos en caso de tinas electrificadas.

Cada una de las estaciones de la linea debe tener una base colocada y asentada en el tanque, sobre la cual reposan los motores que hacen rotar a los barriles sobre su eje. Esto es de suma importancia, pues si las piezas no se estan moviendo, no tendrán un espesor uniforme de depósito. El

motorreductor se conecta mecanicamente al barril a través de un engrane que mueve un juego de engranes del barril haciéndolo girar. En la tina hay un "microinterruptor" que avisa al motor para que empiece a moverse cuando el barril desciende.

Al principio de la línea tenemos una estación de carga y descarga que no es otra cosa que un pequeño estante de acero pintado, donde reposan los barriles y que en su parte inferior tiene dos conos que obligan a las piezas a caer en un carrito en el que se transportarán hasta el secador.

Las bases de los tanques se analizarán junto con el resto del equipo accesorio en el capítulo referente a la modularización.

CAPITULO 4

4.1 EQUIPO DE CALENTAMIENTO.

Dentro de nuestro proceso, algunos pasos requieren de un calentamiento de la solución para que ésta pueda trabajar en forma correcta.

Estos pasos son:

1. Desengrase por inmersión 80°C.
2. Desengrase electrolítico 80°C.
3. Cinc 30°C.
4. Enjuague con agua caliente 70°C.

Estos cuatro procesos requieren de calentamiento para llegar a su temperatura normal de operación y para mantenerla.

El primer factor importante de diseño es el tiempo inicial de calentamiento cuando la línea esta detenida.

A este respecto, podemos elegir cualquier tiempo, sin embargo debemos pensar en forma práctica. Un tiempo muy largo haría que practicamente todo el tiempo se estuviera calentando, pues debemos recordar que la planta va a trabajar dos turnos de ocho horas cada uno. Por otro lado un tiempo muy corto haría que necesitásemos un equipo muy excedido en tamaño para los requerimientos de operación.

Vamos a fijar tres horas y más adelante demostraremos con números que es un tiempo adecuado.

Otro factor muy importante es el medio de calentamiento. Al respecto, tenemos básicamente dos posibilidades, una de ellas es la utilización de serpentines con vapor y la otra es el uso de calentadores eléctricos. Aquí entramos en un terreno un poco delicado, pues cada planta es muy diferente en cuanto a requerimientos y también en cuanto al equipo auxiliar necesario para otras partes de la fábrica.

En forma general podríamos hablar sobre el calentamiento eléctrico, empezando por indicar que éste se lleva a cabo por medio de unas resistencias metálicas que tienen un recubrimiento del material necesario. Estas resistencias se colocan sobre las labios de los tanques y deben estar interconectadas con un control de temperatura que las active cuando se requiera de calentamiento para mantener la temperatura de la solución. Normalmente tienen integrado un sensor de bajo nivel para evitar que se disminuya la altura del líquido en el tanque el calentador siga trabajando y dañe las paredes del recipiente.

Estos calentadores no tienen un costo muy elevado, pero llegan a fundirse y a romperse, especialmente cuando su revestimiento exterior es de cuarzo o teflón. Además, en México, el costo de la energía eléctrica es bastante elevado, lo que hace que este tipo de calentamiento no sea el preferido del mercado, utilizándose sólo en instalaciones de pequeño tamaño, donde el pensar en una caldera para vapor o

en quemadores de gas es impráctico o incosteable. Otro uso de estos calentadores es en la industria de circuitos impresos, donde las tanques usualmente son de pequeño tamaño y el espacio es muy importante. Además, existen procesos como el depósito de Niquel autocatalítico sin corriente eléctrica que requerirían un cambiador de calor de tubos de teflón, cuyo costo es tan elevado que resulta difícil de amortizar.

Por otro lado, tenemos la opción de utilizar serpentines convencionales, y vapor como medio de calentamiento. En este caso, el proceso es rentable si en la planta se requiere vapor para otros equipos o servicios, de modo que va a existir una caldera que permita utilizar este vapor para el calentamiento de nuestros tanques.

En casos no tan obvios, se requiere analizar la cantidad de vapor y con esto obtener el precio de la caldera e instalación aislada térmicamente. Una vez obtenido esto, se debe comparar con el precio de los calentadores y el consumo eléctrico que representan, o, en pensar en la posibilidad de un calentamiento con gases de combustión provenientes de algún quemador.

Ahora que hemos fijado el uso de serpentines, debemos calcular nuestra área disponible y seleccionar los materiales a usar.

En cuanto al área, lo más recomendable es utilizar la

pared del tanque y no el fondo, pues correríamos el riesgo de que, en un accidente, alguna pieza o el barril cayeran dentro de la tina fracturando el serpentín y causando un problema.

Usualmente el área de las paredes es suficiente.

Para esto podemos pensar en un tanque enchaquetado, sin embargo no es muy recomendable, pues para cualquier reparación, necesitaríamos detener el proceso, y en caso de algún problema serío sustituir la chaqueta o reemplazar el tanque con todos los problemas que esto acarrea.

Una opción mas práctica es el uso de serpentines móviles que se puedan colocar y sacar en cualquier momento sin detener el ciclo productivo. Existen en el mercado unos serpentines laminares con tubos unidos por la misma placa que los forma y que presentan un gran área de transferencia en un reducido espacio. Es este caso, basaremos nuestros cálculos y diseño en este tipo de equipo que comercialmente se conoce como "platecoil".

En cuanto a los materiales a utilizar, podemos consultar la tabla anexa.

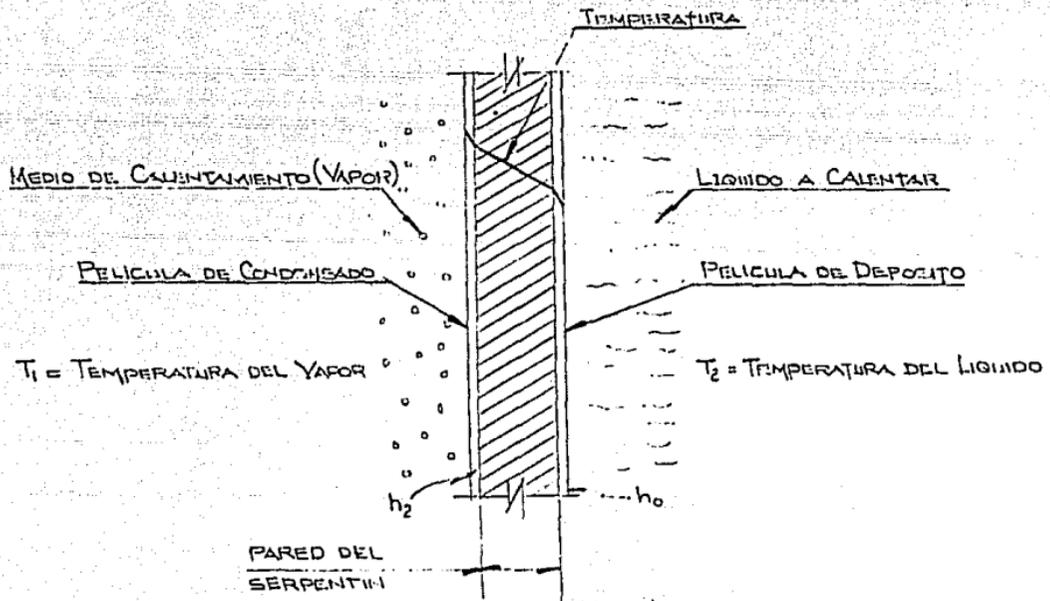
La recomendación es utilizar Acero Inoxidable tipo 304 en los baños de desengrase, desengrase electrolítico y cinc,

y Acero Inoxidable tipo 316 en el enjuague de agua caliente.

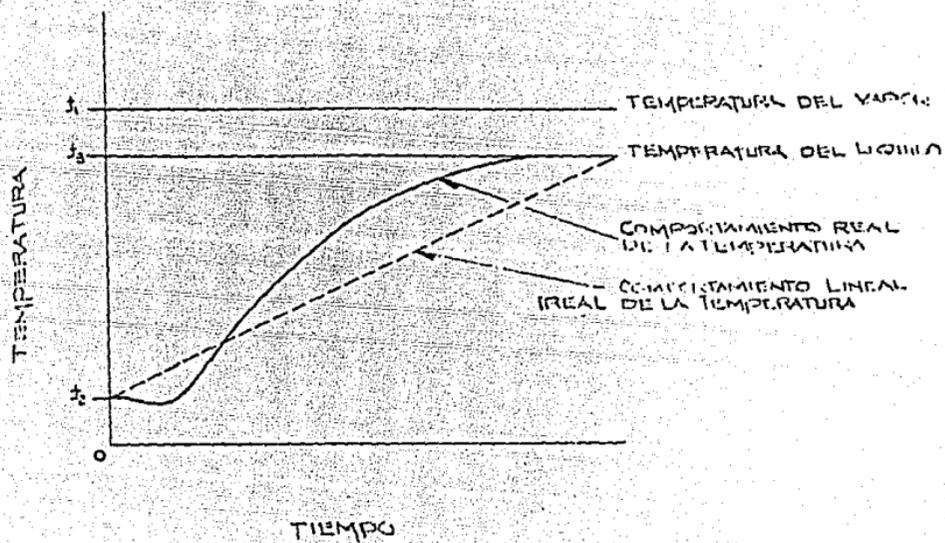
Ahora vamos a repasar algunos conocimientos generales sobre los factores que gobiernan la transferencia de calor.

El calor se define como energía transferida en virtud de una diferencia o gradiente de temperaturas y es vectorial en el sentido que fluye de regiones de temperaturas más altas a regiones de temperaturas más bajas. Las formas básicas de transferencia de calor son: la conducción, la convección y la radiación.

La conducción es la transferencia de calor de una parte de un cuerpo con mayor temperatura a otra parte del cuerpo a una temperatura inferior, o de un cuerpo a una temperatura más alta a otro cuerpo de temperatura más baja, existiendo contacto físico entre ambos. El proceso de conducción se lleva a cabo a nivel molecular e involucra la transferencia de energía de moléculas de mayor energía a aquellas de un nivel energético menor. Esto puede visualizarse fácilmente en los gases, donde podemos observar que la energía cinética promedio de las moléculas en las regiones de temperatura más alta es mayor que en aquellas de regiones de temperatura más baja. Las moléculas más energéticas periódicamente chocan con moléculas de un nivel de energía menor e intercambian energía y momentum. de esta forma existe un transporte continuo de energía de las regiones de mayor a las de menor temperatura. En los líquidos, las moléculas están menos espaciadas que en



UNIVERSIDAD LA SALLE
FIG. 5 TRANSFERENCIA DE CALOR
TECNOLOGIA PROFESIONAL
1991 ANGEL FERRER RIVERA



UNIVERSIDAD LA SALLE

FIG. 16 GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO

TERMO, PROFESIONAL

1947

ANGEL RODRIGUEZ

los gases, pero el proceso de intercambio de energía molecular es cualitativamente similar al ocurrido en los gases. En los sólidos dieléctricos el calor se conduce por un enrejado de ondas causadas por el movimiento atómico. En sólidos que son buenos conductores de la electricidad este mecanismo de vibración en enrejado es sólo una pequeña contribución al proceso de transferencia de energía, con una contribución principal debida al movimiento de los electrones libres que se mueven de la misma forma que las moléculas de un gas.

A un nivel macroscópico, se puede establecer que el flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura con un factor de proporcionalidad definido como conductividad térmica, k :

$$q/A = -k (\delta T/\delta y)$$

Esta relación se utiliza para el proceso de conducción en sólidos, líquidos y gases. De lo anterior, como podríamos esperar, la magnitud de la conductividad térmica de los sólidos electricamente conductores es mayor que para dieléctricos y los sólidos en general tienen una conductividad térmica superior a la de los líquidos.

En tratamientos a problemas de conducción es conveniente introducir otra propiedad, que esta relacionada a la conductividad térmica, conocida como difusividad térmica, α

$$D = k / eC$$

Aquí e es la densidad y C es el calor específico.

La radiación, o más correctamente radiación térmica, es la radiación electromagnética emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Esta radiación térmica es de la misma naturaleza que la luz visible, rayos X y ondas de radio, aunque se diferencian en la longitud de las ondas. El ojo humano es sensible a radiación electromagnética en la región de 35 a 75 micrones; esto se conoce como la región visible del espectro. Las ondas de radio tienen una longitud de 10^4 micrones y los rayos X tienen longitudes de onda de 0.01 a 1, mientras que la radiación térmica sucede en un rango de 0.1 a 100 micrones. Todos los sólidos y líquidos calentados, así como gases, emiten radiación térmica. A nivel macroscópico, los cálculos de radiación térmica se basan en la Ley de Stefan-Boltzman que relaciona el flujo de energía emitido por un radiador ideal a la cuarta potencia de la temperatura absoluta

$$e_b = \sigma T^4$$

Aquí σ es la constante de Stefan-Boltzman. Las superficies utilizadas usualmente en Ingeniería no se comportan como radiadores ideales, de modo que para superficies reales la ley anterior se expresa:

$$e = \epsilon \sigma T^4$$

El término ϵ se denomina emisividad de la superficie con valores entre 0 y 1.

La convección, algunas veces identificada como una forma separada de transferencia de calor, relaciona la transferencia de calor de una superficie emisora a un fluido en movimiento, o a la transferencia de calor a través de un flujo plano en el interior de un fluido en movimiento. Si el movimiento del fluido es producido por una bomba, ventilador, agitador o algo similar el proceso se llama convección forzada. Si el movimiento del fluido ocurre como resultado de la diferencia de densidades producida por la transferencia de calor en sí misma, el proceso se llama convección natural. En los procesos de convección que involucran transferencia de calor desde o a una superficie emisora expuesta a una corriente de fluido de baja velocidad, es conveniente introducir un coeficiente de transferencia de calor h , que se define en la llamada Ley de Enfriamiento de Newton

$$q/A = h (T_s - T_\infty)$$

Aquí T_∞ es la temperatura de la superficie y T_s es una temperatura característica del fluido.

Para casos como el de fluidos moviéndose en tubos,

canales, etc. T_m se toma como la temperatura media de mezcla de entalpia, normalmente identificada como T_m .

El coeficiente de transferencia de calor ya definido puede incluir contribuciones de radiación y conducción. Si la contribución de radiación es despreciable, entonces la transferencia total es debida a la conducción. En este caso, podemos decir

$$h = (q/A) / (T_f - T_m) = (-k(\delta T/\delta y)_s) / (T_f - T_m)$$

El coeficiente de transferencia de calor es entonces reconocible como el gradiente dimensional de temperatura. Es sensible a la geometria, a las propiedades físicas del fluido y a la velocidad de flujo.

En algunas situaciones físicas es posible determinar analíticamente los detalles del fluido en cuestión y la distribución de temperatura y de esta forma evaluar el coeficiente de transferencia de calor h . En estos casos susceptibles de análisis, si el proceso de transferencia de calor involucra radiación y conducción, es conveniente determinar la magnitud de cada modo y definir el coeficiente de transferencia de calor en términos de la contribución conductiva sola como se da en la ecuación anterior. Desafortunadamente, en la mayoría de los problemas de ingeniería la transferencia de calor por convección no puede ser determinada analíticamente pero debe ser evaluada

experimentalmente. En casos semejantes, si la radiación es un mecanismo importante, es usualmente imposible separar los modos de conducción y radiación y el coeficiente de transferencia de calor no puede ser interpretado como el gradiente dimensional de temperatura.

En el caso que nos ocupa, encontramos dos de los tres tipos de transferencia de calor, conducción y convección.

En la figura 5 podemos analizar el fenómeno de transferencia que se lleva a cabo en nuestro problema específico. El vapor funciona como un medio de calentamiento para el líquido del tanque. Sin embargo, en la superficie interna del serpentín, se condensa una película que entorpece la transferencia de calor. Después, encontramos el lógico fenómeno de conducción a través de la delgada pared metálica del serpentín. Usualmente esta pared no presenta un grave problema al paso del calor, ya que los metales son buenos conductores térmicos, sin embargo es necesario considerar esta contribución.

Otro obstáculo que encuentra el calor es el que produce la película de depósito o incrustación, que ofrece una resistencia extra, constituyendo una pared compuesta y dificultando la transferencia.

Una vez que el calor pasa esta pared de resistencias, se transmite a todo el fluido a calentar mediante el mecanismo conocido como convección natural. Las moléculas de líquido cercanas a la superficie del serpentín aumentan de temperatura y como consecuencia disminuye la densidad del líquido en esta zona. Esta diferencia de densidades causa un movimiento del fluido, lo que facilita el transporte de calor por todo el tanque.

Como veremos a continuación, la resistencia más fuerte la encontramos en la película que se forma del lado del vapor.

Vamos ahora a proceder al mecanismo de cálculo que vamos a emplear para los serpentines de esta línea de cincado y cromatizado.

Dividiremos nuestro trabajo en cuatro pasos generales.

1º Determinación del calor requerido.

La cantidad de calor requerido para el calentamiento, Q , se calcula normalmente de datos conocidos.

Utilicemos para esto la expresión:

$$Q = M C_p \Delta t$$

Si particularizamos esta expresión a nuestro caso de un baño de electrodepósito, tenemos

$$Q = (V(62.4) Gsp Cp \Delta t) / \theta$$

donde:

Q = calor requerido en BTU/Hr.

V = volumen de solución a calentar en ft³.

Gsp = densidad relativa de la solución referida al agua.

Cp = calor específico de la solución en BTU/ lb °F.

Δt = diferencia de temperaturas en °F.

θ = tiempo inicial de calentamiento en Horas.

20 Determinación del Coeficiente Global de Transferencia de Calor.

El coeficiente global de transferencia de calor U, puede ser calculado utilizando la expresión:

$$U = 1 / (1/h_o + x/k + 1/h_i)$$

donde:

h_i = coeficiente de película interna de transferencia en BTU/Hr ft² °F

h_o = coeficiente de depósito de transferencia en BTU/Hr ft² °F.

x = espesor del metal pared del serpentín en pulgadas.

k = conductividad térmica del metal del serpentín en BTU/Hr
ft² °F/pulgadas

39 Determinación de la diferencia de temperaturas.

La forma más sencilla de calcular esto, sería obteniendo el promedio algebraico entre las temperaturas de los fluidos, es decir:

$$t = ((t_1 - t_2) + (t_1 - t_3))/2$$

Sin embargo esta expresión nos conduciría a un error considerable, ya que no se apega al comportamiento real del proceso de transferencia y por ello necesitamos calcular la diferencia de temperaturas de forma que podamos obtener un perfil de cambio real.

Viendo la curva de la figura 6 con el comportamiento de la temperatura, podemos llegar a la conclusión de que un promedio logarítmico se ajustaría más a la realidad, de modo que tendríamos:

t_L = diferencia media logarítmica en °F.

t_1 = diferencia mayor entre el fluido frío y el vapor en °F.

t_2 = diferencia menor entre el fluido frío y el vapor en °F.

49 Cálculo del Area de transferencia de calor.

Una vez calculados los parámetros anteriores, el área de transferencia de calor se puede despejar directamente, obteniendo:

$$A = Q / Ut_L$$

A continuación, aplicaremos esta secuencia de cálculo a cada problema específico.

Comenzaremos por los tanques de desengrase y desengrase electrolítico, que pueden ser calculados juntos debido a que tienen el mismo volumen y requieren de la misma temperatura de operación.

$$\text{Volumen del tanque} = 42" \times 36" \times 44" = 3.5 \text{ ft} \times 3 \text{ ft} \times 3.67 = 1.067 \times 0.914 \text{ m} \times 1.117 \text{ m}$$

$$\text{en pies} = 38.53 \text{ ft}^3 = 1.067 \text{ m.} \times 0.914 \text{ m.} \times 1.117 \text{ m} = 1.089 \text{ m}^3$$

$$T \text{ inicial} = 15 \text{ }^\circ\text{C} = 59 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T \text{ final} = 80 \text{ }^\circ\text{C} = 176 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$C_p = 1 \text{ BTU/Hr }^\circ\text{F}$$

$$T = 176 - 59 = 117 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Spgr = 1.4$$

$$Q_1 = (V Spgr (62.4) C_p T) / \theta = (38.53 \text{ ft}^3)(87.36)(1)(117) /$$

$$3 \text{ horas} = 131,290.28 \text{ BTU/Hr} = 48,605.12 \text{ kcal/hr}$$

Teniendo ya nuestros requerimientos de calor, procedemos a calcular el coeficiente global de transferencia de calor.

$$U = 1 / (1/h_o + x/k + 1/h_a)$$

Podemos obtener los datos de casos específicos y datos que proporciona el fabricante de este tipo de serpentines al respecto y que aparecen en la tabla 1 anexa al capítulo.

$$h_o = 300 \text{ BTU/Hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$h_a = 1,000 \text{ BTU/Hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$x = 0.0747 \text{ pulgadas}$$

$$k = 113 \text{ BTU/Hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/pulgada}$$

Sustituyendo

$$U = 1 / (1/1,000 + 0.0747/113 + 1/300) = 217 \text{ BTU/Hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} = 0.1 \text{ kcal/hr cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ahora, buscando la temperatura de saturación del vapor a 15 PSIG, que es el que vamos a usar, encontramos que es 250 $^\circ\text{F}$. (121.11 $^\circ\text{C}$)

Teniendo ésto, procedemos a calcular t_L

$$t_L = ((250 - 59) - (250 - 176)) / \ln (250 - 59)/(250 - 176) = 117 / \ln 2.581 = 117 / 0.9482 = 123.39 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Ahora necesitamos conocer las pérdidas de calor que sufre el tanque por las paredes. Para ésto, calculamos el area del tanque que resulta 55.865 ft². Ahora, calculamos

$$Q = 55.865 \text{ ft}^2 \times 320 \text{ BTU/Hr ft}^2 = 17,676.8 \text{ BTU} = 6614.41 \text{ kcal}$$

320 BTU/Hr ft² proviene de la tabla 2 del capítulo

Ahora calculamos las pérdidas de calor por la superficie abierta del tanque:

$$A = 12.8 \text{ ft}^2$$

$$Q = 12.8 \text{ ft}^2 \times 3300 \text{ BTU/Hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} = 42,240 \text{ BTU} = 15628.8 \text{ kcal.}$$

3300 BTU/Hr ft² °F proviene de la tabla 2 del capítulo.

Ahora sumamos las pérdidas

$$Q = 60,116 \text{ BTU} = 22243.92$$

Una regla segura para calcular estas pérdidas en tiempos de calentamiento inicial mayores de 2 horas es calcular las pérdidas por las paredes y por la superficie encontradas para una hora y dividir este valor entre dos. Las pérdidas de calor se convierten en pérdidas promedio de calor que pueden ser usadas para cualquier periodo de calentamiento inicial

$$Q = 60,116 / 2 = 30,058 \text{ BTU} = 11,121.46 \text{ kcal}$$

$$Q_T = 161,348.26 \text{ BTU} = 59,698.86 \text{ kcal}$$

Ahora despejamos para calcular el área

$$A = Q / (U t_L) = 161,348.26 / (217)(123.39) = 161,348.26 / 26,775.99 = 6.026 \text{ ft}^2 = 0.56 \text{ m}^2$$

Este es el área obtenida al calcular para las condiciones de arranque, sin embargo, podría darse el caso de que las condiciones de operación demanden un mayor área de transferencia, por lo que debemos revisar en ese sentido también.

Las piezas entran a este baño a unos $20^\circ\text{C} = 68^\circ\text{F}$.

$$Q = (0.11)(2,800 \text{ lb/Hr})(176.68) = 33,264 \text{ BTU} = 12307.7 \text{ kcal}$$

donde:

0.11 BTU/lb $^\circ\text{F}$ proviene de datos experimentales

2800 lb/Hr es la producción en lb de piezas

$$Q_T = 60,116 + 33,264 = 93,380 \text{ BTU/Hr} = 34550$$

Pero esta cantidad es inferior a los 161,348 BTU/Hr que se requieren para el arranque, de modo que el área calculada es correcta.

Ahora, ya calculada el área de transferencia, se puede verificar en las tablas de medidas que ofrecen los fabricantes de estos equipos, con lo que obtenemos un serpentín de 18" (457.2 mm.) de alto y 23" (584.2 mm.) de largo.

Es importante que calculemos ahora la masa de vapor necesaria para el calentamiento, ya que lo requeriremos en cálculos posteriores.

$$Q = M H$$

$$H_{\text{vapor 15 psig sat}} = 1,163 \text{ BTU/lb}$$

$$H_{\text{liquido 15 psig sat}} = 218 \text{ BTU/lb}$$

$$M = Q / H = 161,348.28 \text{ BTU/Hr} / 1163.218 \text{ BTU/lb} = 170.74 \text{ lb/Hr de vapor} = 77.34 \text{ kg/hr de vapor}$$

Esta es la cantidad de vapor de 15 psig saturado que se requiere por hora en el arranque , de modo que es la cantidad para la que se deben diseñar tuberías y aislamiento. Desde luego ésto es sólo para la tina de desengrase por inmersión ó para la de desengrase electrolítico.

A continuación procederemos a repetir el mismo procedimiento para los tanques de enjuague caliente y cinc.

Enjuague de agua caliente.

$$\text{Volumen del tanque} = 3 \text{ ft} \times 3 \text{ ft} \times 3.67 \text{ ft} = 33.03 \text{ ft}^3 =$$

$$0.914 \text{ m.} \times 0.914 \text{ m} \times 1.118 \text{ m} = 0.934 \text{ m}^3$$

$$T_L = 15 \text{ }^\circ\text{C} = 59 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_v = 70 \text{ }^\circ\text{C} = 158 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Q_L = (33.03 \text{ ft}^3 (62.4)(1)(99 \text{ }^\circ\text{F})) / 3 \text{ horas} = 68,015.37$$

$$\text{BTU/Hr} = 25,165.68 \text{ kcal/hora}$$

$$U = 217 \text{ BTU/Hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_L = (250 - 59) - (250 - 158) / \ln (250 - 59)/(250 - 158) =$$

$$99 / \ln 2.076 = 135.54$$

Pérdidas por las paredes

$$A = 51.03 \text{ ft}^2 = 4.75 \text{ m}^2$$

$$Q = 320 \times 51.03 = 16,329.6 \text{ BTU} = 6,041.95 \text{ kcal}$$

Pérdidas por la superficie

$$Q = 11.01 \times 3300 = 36,333 \text{ BTU} = 13,443.21 \text{ kcal}$$

$$Q_T = 52,662 \text{ BTU} = 19,484.94 \text{ kcal}$$

$$Q = 52,662.6 / 2 = 26,331.3 \text{ BTU/Hr} = 9,742.58 \text{ kcal/hr}$$

$$Q_{\text{Total}} = 94,346.67 \text{ BTU/Hr} = 34,908.27 \text{ kcal/hora}$$

$$\text{Area} = 94,346.67 \text{ BTU/Hr} / ((217 \text{ BTU/Hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F})(135.54)) = 3.2$$

$$\text{ft}^2 = 0.298 \text{ m}^2$$

En cuanto a los requerimientos operacionales

$$Q = (.0.95)(2800 \text{ lb/Hr})(158 - 68) \text{ }^\circ\text{F} = 23,940 \text{ BTU/Hr}$$

$$Q_T = 52,662.6 + 23,940 = 76,602.6 \text{ BTU/Hr} = 28,343 \text{ kcal/hora}$$

que es inferior a 94,346.67 BTU/Hr del arranque, por lo que utilizaremos el área obtenida originalmente y las medidas 12" (304.8 mm) de alto y 23" (584.2 mm.) de largo.

En cuanto a la masa de vapor durante la operación:

$$M = 94,346.67 \text{ BTU/Hr} / (1.163 - 218) \text{ BTU/lb} = 99.84 \text{ lb de vapor} / \text{Hora} = 45.23 \text{ kg/hr de vapor}$$

Cinc.

$$V = 14 \text{ ft} \times 3 \text{ ft} \times 3.67 \text{ ft} = 154.14 \text{ ft}^3 = 4.27 \text{ m.} \times 0.914 \text{ m.} \times 1.118 \text{ m.} = 4.36 \text{ m}^3$$

$$T_r = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 86 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T = 86 - 59 = 27 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Q = ((154.14 \text{ ft}^3)(1.6)(62.4)(27^\circ)) / 3 \text{ horas} = 138,504.03$$

$$\text{BTU/Hr} = 51,246.50 \text{ kcal/hr}$$

$$t_L = ((250 - 59) - (250 - 86)) / \ln (250 - 59)/(250 - 86) = 27 / \ln 1.16 = 181.94$$

$$A = 157.4 \text{ ft}^2 = 14.64 \text{ m}^2$$

Pérdidas por las paredes

$$Q_1 = 157.4 \text{ ft}^2 \times 320 = 50,368 \text{ BTU} = 18,636 \text{ kcal}$$

Pérdidas por la superficie

$$Q_2 = 42 \text{ ft}^2 (3300) = 138,600 \text{ BTU} = 51,282 \text{ kcal}$$

$$Q_T = 180,968 \text{ BTU} / 2 = 94,484 \text{ BTU/Hr} = 34,959 \text{ kcal/hr}$$

$$Q_{\text{Total}} = 232,988.03 \text{ BTU/Hr} = 86,205.6 \text{ kcal/hr}$$

$$\text{Area} = 232,988.03 \text{ BTU} / (217)(181.94) = 5.9 \text{ ft}^2 = 0.55 \text{ m}^2$$

Ahora considerando los gastos operacionales:

$$Q = (0.11)(933.34 \text{ lb/Hr})(86 - 66) \text{ } ^\circ\text{F} = 1,848 \text{ BTU}$$

En este caso la producción se reparte en tres tanques iguales

$$Q_{\text{Total}} = 96,332 \text{ BTU/Hr} = 683.76 \text{ kcal}$$

Que es inferior al calculo del calor de arranque, por lo que utilizaremos el área obtenida de esa manera y las medidas correspondientes son 12" (304.8 mm.) de alto y 35" (889 mm.) de longitud.

En cuanto al vapor requerido:

$$M = 232,988.03 \text{ BTU/Hr} / 945 \text{ BTU/lb} = 246.55 \text{ lb de vapor} / \text{Hr}$$
$$= 111.68 \text{ kg./hr de vapor}$$

Ahora, necesitamos el consumo total de vapor de la línea.

$$\text{Desengrases} = 170.74 \times 2 = 341.48 \text{ lb/Hr}$$

$$\text{Enjuague} = 99.84 \times 1 = 99.84 \text{ lb/Hr}$$

$$\text{Cinc} = 246.55 \times 3 = \underline{739.65 \text{ lb/Hr}}$$

1,180.97 lb/Hr de vapor a 15 psig

534.54 kg/hr de vapor a 15 psig

En los baños de depósito es de suma importancia el mantener la temperatura dentro de rangos establecidos, por lo que cada tina que requiere de calentamiento debe tener un control de temperatura con bulbo de teflón con un rango de 0 °C a 120 °C. Este control debe estar conectado electricamente a una válvula solenoide que regule el flujo de vapor al serpentín cuando se requiera.

TABLA 1 DEL CAPITULO 4.1

EFFECTO DE LA CONDUCTIVIDAD DEL METAL EN LOS VALORES DE U.

Aplicaciones	Material	Coeficientes de película Stu/hr sq ft F h _o h _i		Conductividad Térmica del Metal (k) Stu/hr sq ft F/in	Espesor del Metal (in)	Valor de U Stu/hr sq ft F
Calentamiento de Agua con Vapor Saturado	Cobre	300	1000	2680	0.0747	229
	Aluminio	300	1000	1570	0.0747	226
	Acero al Carbono	300	1000	312	0.0747	220
	Acero Inoxidable	300	1000	113	0.0747	217
Calentamiento de Agua con Vapor Saturado	Cobre	5	1000	2680	0.0747	4.97
	Aluminio	5	1000	1570	0.0747	4.96
	Acero al Carbono	5	1000	312	0.0747	4.97
	Acero Inoxidable	5	1000	113	0.0747	4.96

TABLA 2 DEL CAPITULO 4.1

PERDIDAS DE CALOR DE SUPERFICIES DE AGUA A VARIAS TEMPERATURAS DE AGUA Y VELOCIDADES DE AIRE.

Temperatura del agua F	Velocidad del aire - pies por segundo						
	0	0.5	1	2	5	10	20
60	7	18	21	26	34	56	95
70	33	52	60	78	105	170	270
80	78	110	125	150	210	315	510
90	130	180	210	240	330	490	760
100	205	270	320	350	480	710	1150
110	290	370	420	480	670	1000	1600
120	400	500	570	660	930	1350	2200
130	550	600	750	890	1240	1800	3000
140	710	870	970	1150	1600	2400	4000
150	950	1130	1280	1510	2100	3200	5300
160	1230	1450	1600	2000	2700	4050	6900
170	1600	1700	2100	2600	3700	5200	9100
180	2050	2600	2900	3550	5000	7200	12500
190	2600	3550	4000	4950	6900	10300	17500
200	3300	5200	5700	7000	9760	14600	25600
210	4300	7200	8100	10000	14000	21000	36000

TABLA 3 DEL CAPITULO 4.1

DATOS DE PERDIDAS DE CALOR.

Condición de la superficie	Aire quieto	10 mph	15 mph	20 mph
	Rango general de t = 60F			
(*) Sin aislar	1.8	4.1	4.7	5.2
1" aislante	0.18	0.20	0.20	0.21
1½" aislante	0.13	0.14	0.14	0.14
2" aislante	0.10	0.11	0.11	0.11
	Rango general de t = 100F			
(*) Sin aislar	2.1	4.4	5.1	5.7
1" aislante	0.18	0.20	0.20	0.21
1½" aislante	0.13	0.14	0.14	0.14
2" aislante	0.10	0.11	0.11	0.11

4.2 EQUIPO DE ENFRIAMIENTO

Las reacciones electroquímicas son exotérmicas y ésta es la razón por la que requerimos de una etapa de enfriamiento. Debemos pensar que estamos hablando de un circuito eléctrico donde hay un ánodo del que están fluyendo los iones metálicos hacia el cátodo.

La solución electrolítica conduce esta corriente eléctrica, sin embargo ofrece cierta resistencia que se refleja en el desprendimiento de calor y por lo tanto en un aumento de temperatura en el baño.

En el caso del depósito de Zinc, la temperatura es un factor vital, ya que si permitieramos que ésta se elevara, el depósito se vería seriamente afectado en cuanto a su velocidad y calidad, por lo que aunque necesitamos de calentamiento para llegar a la temperatura normal de operación, también requerimos de enfriamiento para no permitir que se eleve al comenzar la reacción electroquímica.

Para saber el calor que se desprende por la reacción, podemos utilizar una sencilla expresión :

$Q = \text{voltaje} \times \text{intensidad} \times \text{factor de conversión}$

En este caso :

$Q = 4000 \text{ amperes} \times 15 \text{ volts} \times 3.412 = 204720 \text{ BTU} = 75,746.4$

kcal

Ahora si consideramos que se estan perdiendo 94484 BTU/Hora por transferencia de calor a través de las paredes y de la superficie al medio ambiente, quiere decir que realmente el calor que debemos disipar es la diferencia de ambos.

$$Q_{\text{disip}} = 204720 \text{ BTU/Hora} - 94484 \text{ BTU/Hora} = 110236 \text{ BTU/Hora} \\ = 40,787.3 \text{ kcal/hr}$$

Si dividimos esta cantidad entre 12000, obtendremos las toneladas de refrigeración que requerimos :

$$TR = 110236/12000 = 9.18 \text{ Toneladas de refrigeración}$$

$$TR_{\text{total}} = 9.18 \times 3 = 27.56 \text{ Toneladas de refrigeración}$$

Ahora debemos considerar las temperaturas de agua con las que podriamos contar. Una buena forma de obtener este volumen de agua es a través de un enfriador de liquido, o como comunmente se le llama "chiller". Este equipo nos puede proporcionar agua fria y recircular la ya utilizada. Vamos a fijar que la temperatura del agua al entrar al serpentín es de 5° C (41° F) y la de salida del mismo de 15° C (59° F).

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_{\text{generado}} = 110236 \text{ BTU/Hora} = 40,787.3 \text{ kcal/hr}$$

Podemos decir que en forma general, la ecuación $Q = mC_p \Delta T$ es valida tambien en este caso, por lo que de la misma

manera, procederemos

$$dT_L = \frac{(90-41)-(80-59)}{LN(90-41)/(80-59)} = \frac{28}{LN 2.3} = 32.93$$

de donde el área de transferencia es igual a 22.31 pies²
=2.075 m²

Esto corresponde a un serpentín de Acero inoxidable tipo 304 de 26" (660.4 mm.) de alto y 59" (1498.6 mm.) de largo.

En algunos casos, el área de transferencia para disipar el calor es demasiado grande, por lo que se necesita sacar la solución y enviarla a un intercambiador de calor de tubos y coraza para ser enfriada por el agua fría.

El control de temperatura que se menciona para este tanque en el capítulo 4.1, se utiliza aquí para controlar una válvula solenoide que opera la entrada de agua.

CAPITULO 5

5.1 EQUIPO DE AGITACION NEUMATICA

El uso de la agitación neumática en la industria de la galvanoplastia ha ido creciendo notablemente en los últimos años, debido a las grandes ventajas encontradas en este método. Algunas de estas son:

1. Eficiente remoción de películas catódicas con una velocidad de proceso mayor.
2. Acción de limpieza más efectiva.
3. Exposición continua de la superficie a solución fresca.

Este tipo de agitación se utiliza fundamentalmente en los enjuagues incrementando su eficiencia y por consecuencia disminuyendo la cantidad de agua requerida y el tamaño del sistema de tratamiento de fluentes.

En este caso no vamos a utilizarla en los tanques de proceso para evitar ciertos problemas, pero si en todos los tanques de enjuague a excepción del de agua caliente.

Para poder proveer el aire necesario para este tipo de agitación, necesitamos algún tipo de ventilador o compresor. Básicamente tenemos dos alternativas:

1. Utilizar un ventilador de baja presión y alto volumen para cada línea.

2. Utilizar aire proveniente de un compresor central de alta presión.

Originalmente podríamos pensar que la segunda alternativa es la más correcta, sin embargo no es así.

El uso del compresor central viene de la posibilidad de tener un ligero ahorro al instalar la planta que normalmente es muy pequeña y va creciendo con el tiempo. No obstante, desde un principio causa problemas de contaminación en los baños y enjuagues pues siempre suministra aire sucio con aceite. Esto baja notablemente la eficiencia del proceso sea cual fuere.

Por el otro lado, el ventilador provee aire perfectamente limpio .

Además, el sentido común nos indica que no es lógico comprimir aire para después disminuirle la presión antes de entrar al baño, con el consecuente gasto extra de energía que esto representa. Algunos cálculos publicados, sugieren que un ventilador independiente se pagará a si mismo en seis u ocho meses sólo con el ahorro de energía que implica contra un compresor central.

Pero no es ésta la única ventaja. Hay que considerar la rentabilidad al comprar un equipo. En este sentido, si toda una planta depende tan sólo de un compresor central y éste

sufre una avería o requiere de mantenimiento, toda la planta queda sin suministro de aire. Por otro lado, teniendo varios ventiladores que suministran aire a cada línea, en caso de haber averías en el ventilador de una línea, sólo ésta queda detenida e incluso teniendo las conexiones adecuadas con el compresor u otros ventiladores, ni siquiera ésta quedaría fuera.

Para poder seleccionar estos equipos, necesitamos calcular en nuestro caso la capacidad requerida para la línea.

Existen dos métodos de cálculo para estos ventiladores:

1. El método de Taylor.
2. El método de Miller y Cerecke.

Con el primer método, calculamos las necesidades de aire con las siguientes formulas

$$P = 0.43 TD + 0.75$$

donde

P = presión requerida en psig.

T = altura de la solución en pies.

D = densidad relativa de la solución .

$$Q = A F.$$

donde

Q = flujo requerido en pies cúbicos estandares por minuto

A = Área superficial total del tanque en pies cuadrados.

F = factor de agitación en pies cúbicos standard por pie cuadrado.

Para los datos necesarios podemos consultar la siguiente tabla

Solución específica	Factor de Agitación	Densidad Relativa
Limpieza	1.0 - 1.5	1.1
Enjuague	0.5 - 1.5	1.0
Depósito de Cobre	1.0 - 1.5	1.2
Depósito de Aluminio	1.0 - 1.8	1.2
Depósito de Niquel	1.2 - 2.0	1.2

Con este método, podemos calcular

$$P = 0.43 (3 \text{ pies})(1.0) + 0.75 = 2.04 \text{ psig}$$

$$Q = 10 \text{ ft}^2 (1.5) = 15 \text{ SCFM} = 0.425 \text{ m}^3/\text{minuto}$$

Considerando que tenemos seis tanques sencillos de

enjuague y un tanque de enjuague de cascada,

$$Q = 15 \times 8 = 120 \text{ SCFM} = 3.36 \text{ m}^3/\text{minuto}$$

$$\text{y } P = 2.04 \text{ psig}$$

en el caso de la presión, obviamente no se suman las presiones, pues si puede darle 2.04 psig en un tanque prácticamente lo podrá dar en los ocho. Es necesario considerar las pérdidas en la tubería, aunque son mínimas en este caso y la diferencia por la altura de la Ciudad de México.

En el caso del segundo método, encontramos:

$$Q = AF$$

igual al caso anterior, pero:

$$P = 0.52 \times D + 0.75$$

donde

P = presión requerida en psig.

D = altura de la solución en pies.

Sustituyendo

$$P = 0.52 (3 \text{ pies}) + 0.75 = 2.31 \text{ psig}$$

Si queremos estar seguros, debemos tomar el volumen requerido que es igual en ambos casos y la presión más alta, es decir 2.31 psig.

El ventilador debe estar protegido con una válvula de alivio, un filtro para garantizar aire limpio, y un silenciador.

Una presión mucho mayor de la calculada, provocaría que el líquido saliera del tanque, una presión menor no permitiría al aire vencer la columna de solución que tiene encima.

Las líneas de tubería que introducen el aire deben ir por el fondo del tanque, cuidando de que estén firmemente sujetas a éste. De lo contrario la tubería comenzaría a doblarse hacia arriba.

Otra cosa importante es la distribución de las líneas de suministro dentro del tanque para evitar una agitación heterogénea. Esto se logra dividiendo la tubería de entrada en dos o tres repartidas en el fondo del tanque.

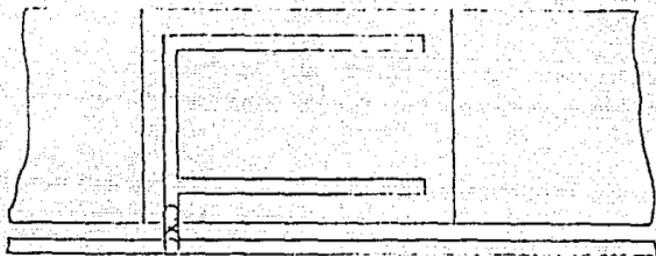
Otro detalle es las perforaciones que tienen las tuberías de distribución que deben ubicarse a 90° con diámetros que oscilan entre 3/32 " (2.38 mm.) y 3/64 " (1.19 mm.) generalmente.

Estos valores se manejan a nivel general en plantas de este tipo y son recomendados por varias compañías fabricantes de equipo para agitación neumática en los Estados Unidos.

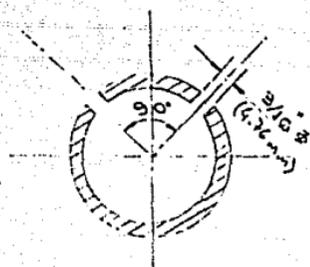
Las tuberías suelen tener 3/4 " (19.05 mm.) a 1" (25.4 mm.) de diámetro.

El espacio entre cada orificio longitudinalmente hablando, se conoce como zona de agitación efectiva y debe ser de unas 6" generalmente.

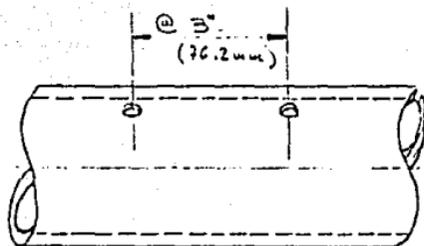
Otro aditamento importante es la válvula de desfoque que se coloca a la entrada de la tubería al tanque para en un momento de emergencia en el que este entrando demasiado aire, lo cual puede dañar el proceso, se ventee éste a la atmósfera.



DETALLE DE AGIT. JELINA, VISTA SUP.



TUBO DE 1/2 STD. (25.4 mm)



UNIVERSIDAD LA SALLE	
FACULTAD AGROPECUARIO Y PESQUISCA	
INSTITUTO TECNOLÓGICO	
Nombre:	Agustin Lopez Lopez

5.2 SISTEMA DE EXTRACCION

En varias etapas del proceso existe desprendimiento de vapores tóxicos que en algunos casos ponen en peligro la salud de los operarios de la planta y aún reducen la vida útil de los equipos y de la estructura del recinto.

En general se han utilizado varios métodos para resolver este problema, tales como una ambientación global de la planta o un arrastre de los vapores a algún punto de concentración, sin embargo el sistema con mejores resultados es el de extracción localizada de vapores en los puntos de emanación de los mismos.

Para el desarrollo de este trabajo, nos vamos a basar en las reglas que al respecto se aplican en Estados Unidos y en las recomendaciones del conocido libro "Electroplating Handbook ", que aparece en la bibliografía.

Aunque existen varios tipos de sistemas de ventilación localizada, vamos a utilizar para este trabajo el llamado "Empuje y Arrastre" por considerarlo el mejor método.

Basicamente consiste en la expulsión de una corriente de aire de empuje proveniente del lado del tanque del operador que obliga y arrastra los vapores tóxicos hacia el lado contrario donde son recogidos por una campana que, por medio de ductos lleva estos gases al exterior a través de un cabezal.

Las campanas laterales son imprescindibles en este caso, ya que cualquier otro tipo estorbaría la operación normal de la grua al transportar los barriles a través de la línea y al depositarlos en los tanques.

El aire de arrastre cumple varios objetivos, entre los que podemos citar el empujar los vapores hacia la campana, haciendo más eficiente el sistema que si éste trabajara con un solo extractor al final del cabezal de recolección. Otro objetivo es el diluir las sustancias disminuyendo su concentración al aumentar el volumen de aire en que se encuentra, disminuyendo su toxicidad.

Podemos utilizar varios materiales para los ductos y las campanas, sin embargo la experiencia ha demostrado que el material óptimo para estos sistemas es el PVC rígido.

Los procesos que requieren de extracción son:

Desengrase por inmersión.

Desengrase electrolítico.

Activación ácida.

Cinc.

Enjuague caliente.

En el caso de los desengrases tenemos un desprendimiento básicamente de Hidróxido de Sodio caliente. En la activación, de Ácido Sulfúrico, en los tanques de Cinc, de cianuros y de

Hidróxido de Sodio y en el enjuague caliente, de vapor de agua muy dañino para las estructuras y partes metálicas.

Si consideramos la longitud de los tanques tenemos:

Desengrase alcalino		40"
Desengrase electrolítico		40"
Activación ácida		30"
Cinc	168 x 3 =	504"
Enjuague caliente		<u>36"</u>
	Total	650" = 54.17 pies 16.52 m.

Para calcular el volumen de aire de arrastre, se utiliza un flujo de 12 CFM por cada pie de longitud de tanque que requiere extracción valor que en la práctica demuestra ser adecuado, es decir:

$$57.17 \text{ pies} \times 12 \text{ CFM/pie} = 650 \text{ CFM}$$

y se utiliza una presión de aproximadamente 12 onzas (38.78 mm. Hg) para el arrastre.

Una vez calculado esto, fijamos el diámetro de la tubería de aire de empuje que es de 2" (50.8 mm.).

Ahora pasemos a analizar el problema de extracción.

Primero calculamos el potencial de toxicidad, refiriendonos a la Tabla 5-5-1 de Industrial Ventilation.

	Potencial tóxico	Standard higiénico	Velocidad de control
Desengrase alcalino	C-1	101-500 ppm	100
Desengrase electrolítico	C-1	101-500 ppm	100
Activación ácida	A-1	0-10 ppm	150
Cinc alcalino cianurado	C-3	101-500 ppm	50
Enjuague caliente	A-4	0-10 ppm	50

Ahora calculamos la proporción anchura - longitud en cada tanque y con esta relación y la velocidad de control, calculamos el volumen de aire requerido.

	Ancho	Largo	Ancho/ Largo	Volumen de aire CFM/ft ²
Desengrase alcalino	44"	40"	1.1	200
Desengrase electrolítico	44"	40"	1.1	200
Activación ácida	44"	30"	1.47	250
Cinc alcaliente cianurado	44"	168"	0.26	75
Enjuague caliente	44"	36"	1.22	100

Después de haber calculado el volumen de aire requerido por unidad de área de cada tanque, calculemos ahora el volumen total a fin de conocer tanto el tamaño de cada

campana como el de los ductos y el extractor.

	Area del Tanque	Volumen	Vol. Total
Desengrase alcalino	12.2 ft ²	200 CFM/ft ²	2440 CFM
Desengrase electrolitico	12.2 ft ²	200 CFM/ft ²	2440 CFM
Activacion acida	9.15ft ²	250 CFM/ft ²	2287 CFM
Cinc alcaliente cianurado	51.24ft ²	75 CFM/ft ²	3843 CFM
Enjuague caliente	10.98ft ²	100 CFM/ft ²	<u>1098 CFM</u>
			12108 CFM
			339.03 m ³ /min

Pero si consideramos que hay tres tanques de Cinc, tendremos un volumen total de 19,794 CFM. = (554.23 m³/min)

Ahora tendremos que ir analizando en forma individual cada tanque con su extracción correspondiente.

Comenzaremos según el orden en la línea por el tanque de enjuague caliente.

Para calcular el área del ducto:

$$\text{Area} = 1098 \text{ CFM} / 2500 \text{ fpm} = 0.439 \text{ ft}^2 = 0.041 \text{ m}^2$$

Si sabemos que el área de un círculo es:

$$A = \pi d^2 / 4$$

entonces:

$$d = \sqrt{(4 A / \pi)} = \sqrt{(4(0.439) \text{ ft}^2 / \pi)} = 0.747 \text{ ft} = 8.97 \text{ cm}$$

es decir un diámetro de 10". (254 mm.)

Para diseñar la campana correspondiente, primero calculamos su altura que normalmente es el 25% del ancho del tanque, es decir 10". (254 mm.)

Para el ancho o profundidad, calculamos 10" de diámetro y le adicionamos otras 3" por razones mecánicas.

La longitud, obviamente, es la del tanque en cuestión.

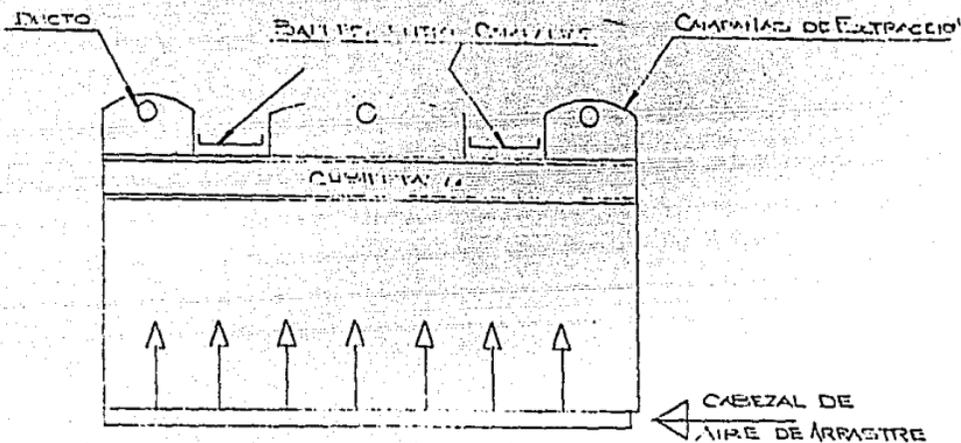
Ahora para calcular el o los claros:

$$\text{Area del claro} = Q/V = 1098 \text{ CFM} / 2000 \text{ fpm} = 0.55 \text{ ft}^2$$

$$\text{Ancho del claro} = 0.55 \text{ ft}^2 / 3 \text{ ft} = 0.183 \text{ ft} = 2.2 \text{ pulgadas} \\ (55.88 \text{ mm.})$$

y se recomienda utilizar dos claros iguales de 2.2 pulgadas. (55.88 mm.)

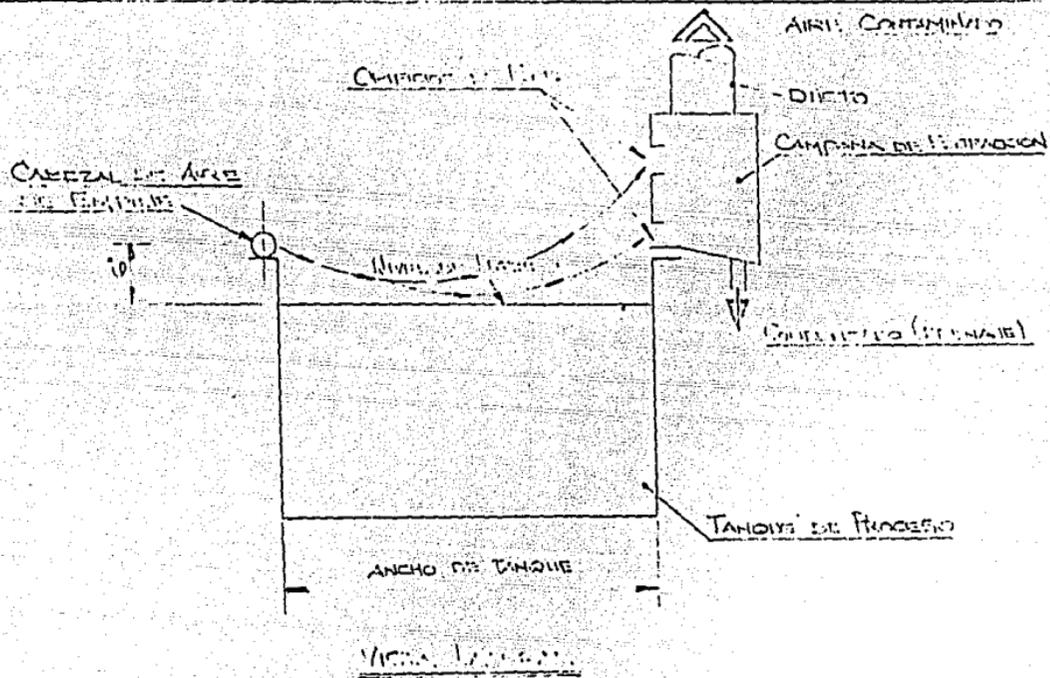
Los valores utilizados de 2500 fpm y 2000 fpm, son recomendados por Industrial Ventilation.



Nota Exp. de Sistema "Rosa Piel"
PARA TANQUES DE PETRÓLEO

NOTA:
 LOS CUBIERTOS NO DE CORREN AL TIEMPO
 DEL TANQUE CUANDO ESTO FUERA DE
 OPERAR CON EL MOVIMIENTO DEL TANQUE

UNIVERSIDAD LA SALLE	
FIG. 5 SISTEMA ROSA-PIEL (ATAJES)	
1997	



UNIVERSIDAD LA SALLE
FIG. 8 EXT. DE EXT. INGENIERIA
TEMA: INGENIERIA
11: ANGELO P. DOMINGUEZ

Ahora para el desengrase alcalino y el desengrase por inmersión:

$$\text{Area del ducto} = 2440 \text{ CFM} / 2500 \text{ fpm} = 0.976 \text{ ft}^2 = 0.091 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro del ducto} = \sqrt{(4(0.976 \text{ ft}^2)/\pi)} = 1.1 \text{ ft} = 13.37 \text{ pulgada}$$

es decir 13.5 pulgadas. (431.8 mm.)

Para el diseño de la campana, consideramos un ancho de 17". (431.8 mm.)

$$\text{Area del claro} = Q/V = 2440 \text{ CFM} / 2000 \text{ fpm} = 1.22 \text{ ft}^2 = 0.113 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancho del claro} = 1.22 \text{ ft}^2 / 3.34 \text{ ft} = 0.37 \text{ ft} = 4.43" = 112.52 \text{ mm}$$

Serían dos claros de 4.5 pulgadas, por lo que la altura de la campana sería 15" en lugar de 10".

Para la activación ácida, tenemos:

$$\text{Area del ducto} = Q/V = 2287 \text{ CFM} / 2500 \text{ fpm} = 0.915 \text{ ft}^2 = 0.085 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro del ducto} = \sqrt{(4(0.915 \text{ ft}^2)/\pi)} = 1.08 \text{ ft} = 13" (330.2 \text{ mm})$$

Para el diseño de la campana consideramos 16" (406.4

mm.) de ancho.

$$\text{Area del claro} = Q/V = 2287 \text{ CFM} / 2000 \text{ fpm} = 1.14 \text{ ft}^2 = 0.106 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancho del claro} = 1.14 \text{ ft}^2 / 2.5 \text{ ft} = 0.456 \text{ ft} = 5.5"$$

para una altura de la campana de 16" (406.4 mm.)

En el caso de los tanques de Cinc, vamos a necesitar hacer algunas modificaciones.

La primera de ellas consiste en dividir el volumen de aire contaminado extraído en tus ductos de igual diámetro. Esto es necesario debido a la longitud tan grande de estas tinas.

La segunda es colocar separadores a fin de tener practicamente tres campanas en vez de una colocando mamparas de separación. Entonces va a ayudar a controlar la extracción en un tanque tan bajo.

$$V = 3843 \text{ CFM} / 3 = 1281 \text{ CFM} = 35.87 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{Area de cada ducto} = 1281 \text{ CFM} / 2500 \text{ fpm} = 0.512 \text{ ft}^2 = 0.047 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro de cada ducto} = \sqrt{(4(0.512 \text{ ft}^2)/\pi)} = 0.807 \text{ ft} = 9.7"$$

es decir 10". (254 mm)

Para la campana correspondiente, consideramos 13" de ancho (330.20 mm)

$$\text{Area del claro} = Q/V = 1281 \text{ CFM} / 2000 \text{ fpm} = 0.64 \text{ ft}^2 = 0.06 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancho del claro} = 0.64 \text{ ft}^2 / 4.67 \text{ ft} = 0.137 \text{ ft} = 1.65" = 41.91 \text{ mm.}$$

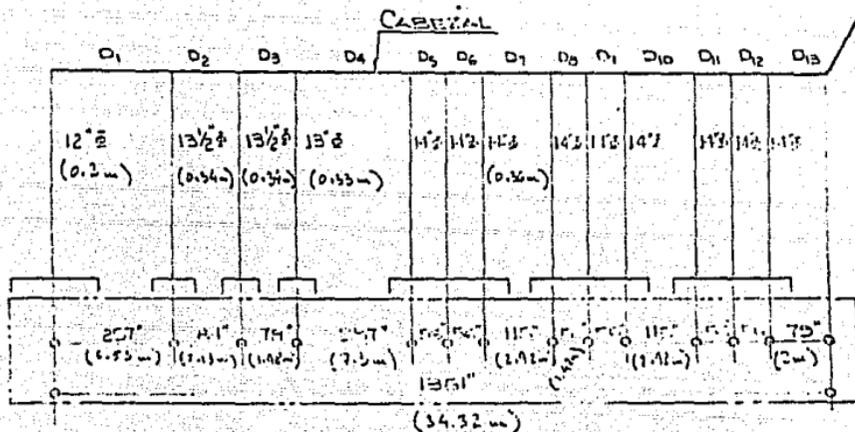
Para una altura de la campana de 10" (254 mm).

Tendríamos tres campanas por cada tanque en cada uno de los tres de electrodepósito de Cinc.

Ahora para calcular el cabezal de recolección, sólo tenemos que ir sumando los gastos y proceder igual que en el cálculo de diámetro de ducto que ya hemos venido realizando, para así obtener la tabla que se muestra a continuación:

$D_2 = 14" = 355.6 \text{ mm.}$	$D_7 = 27" = 685.8 \text{ mm}$
$D_1 = 10" = 254 \text{ mm.}$	$D_8 = 28" = 711.2 \text{ mm.}$
$D_3 = 18" = 457 \text{ mm.}$	$D_9 = 29" = 736.6 \text{ mm.}$
$D_4 = 22" = 558.8 \text{ mm.}$	$D_{10} = 32" = 812.8 \text{ mm.}$
$D_5 = 24" = 609.6 \text{ mm.}$	$D_{11} = 32" = 812.8 \text{ mm.}$
$D_6 = 25" = 635 \text{ mm.}$	$D_{12} = 33" = 838.2 \text{ mm.}$
$D_{13} = 34" = 863.6 \text{ mm.}$	

El material utilizado tanto en la fabricación de las



UNIVERSIDAD LASALLE

FIG. 10 VISTA GPAL. DICCOS DE EXT.

TESIS PROFESIONAL

1995

campesinas como para los ductos es PVC rígido laminado rolando con calor.

Ahora vamos a calcular las características del extractor.

Podemos encontrarlos de dos tipos, axiales y centrífugos. Es recomendable por facilidad de sustitución y reparación utilizar un extractor del tipo centrífugo y es muy importante que este construido en fibra de vidrio o PVC, ya que los vapores que serán extraídos por él son corrosivos además de ser tóxicos.

Debe tener la capacidad para mover el volumen total de gas extraído, es decir 17,800 CFM. (554.4 m³/min)

Es muy importante comentar en este punto varios detalles.

El primero de ellos es que el ventilador de aire de empuje debe tener integrado un filtro de aire y un silenciador.

Otro importante detalle es que las uniones de los ductos → de extracción al cabezal de recolección deben formar un ángulo inferior a 90° para que el sistema funcione correctamente.

Las leyes no indican la necesidad de tratar el aire de salida indicado en esta línea, sin embargo queda al criterio de los responsables del proyecto la instalación de un lavador de gases. En caso de utilizarse se recomienda sea construido de PVC con empaques de polipropileno.

El cabezal de recolección debe pasar unos 2 metros de altura sobre la línea de tanques. Esto es con el objetivo de minimizar la probabilidad de accidentes, pero permitiendo un acceso realmente fácil en caso de ser necesaria una reparación.

5.3 SECADO

Una vez que las piezas concluyen los tratamientos químicos y electroquímicos a los que se han sometido, llegan a la última etapa de todo el proceso que consiste en el secado de las mismas.

Podría parecer la etapa menos importante, sin embargo una mala elección de medio de secado puede afectar tremendamente la calidad del recubrimiento de las piezas.

Pero antes de empezar a analizar nuestro problema específico, vamos a recordar algunos principios de los procesos de secado. En este caso, nos vamos a referir al mecanismo de secado de sólidos no solubles ya que nuestras piezas pueden conservar agua pero no puede infiltrarse en el material.

Hablemos de secado refiriendonos a la operación por medio de la cual, separamos un líquido, en este caso agua, de un sólido, en este caso piezas metálicas, utilizando aire caliente.

Para poder obtener una gráfica del proceso general de secado, debemos analizar las diferentes etapas de éste.

Periodo I_0 , periodo inicial durante el cual la velocidad de secado aumenta o disminuye rápidamente, desde un valor inicial. Su duración es relativamente corta y en algunos experimentos no llega a observarse.

Periodo I, es la primera etapa de secado en la que la velocidad de desecación es constante.

Periodo II, es en el que la velocidad de secado, disminuye en mayor o menor proporción a medida que lo hace el contenido en agua.

Periodo III, es un estado mediano al anterior, aunque no siempre se diferencia claramente de él; mientras dura, la velocidad de secado disminuye proporcionalmente con la humedad y es distinta de la que corresponde al periodo II.

Prolongado el secado en estas condiciones, llega un momento en que la velocidad se hace cero. El contenido mínimo de agua que puede llegar a alcanzarse con un secado de duración infinita se denomina humedad de equilibrio.

La humedad de equilibrio, x^* , es el límite al que puede llevarse el secado de una sustancia con un medio secante de determinadas temperatura, humedad, etc., y depende de la naturaleza del sólido, de la temperatura del agente secante y de su humedad relativa. Aún tratándose de un sólido, es difícil encontrar una ecuación general que ligue todas estas variables que, por otra parte, debe ser de tipo experimental. Las sustancias no porosas y muy insolubles tienen humedades de equilibrio prácticamente nulas, mientras que muchos productos orgánicos, como el jabón, el cuero y la madera,

poseen humedades de equilibrio que varían mucho con la temperatura y la humedad del medio secante.

La humedad libre, F , es la diferencia entre la humedad total, x , y la de equilibrio, x^* , expresadas en kilogramos de agua por kilogramo de sólido seco.

$$F = x - x^*$$

Si la humedad total es x , la humedad libre, F , será función de las mismas variables que la de equilibrio, x^* . El valor de la humedad libre carece de significado si con él no se conocen también la temperatura y la presión parcial del vapor de agua del medio secante y la humedad de equilibrio del sólido. De ordinario, la humedad de equilibrio es pequeña respecto a la humedad total, por lo que la humedad libre varía muy poco al variar la temperatura y la humedad del medio secante.

Las velocidades de secado se suelen representar en función de la humedad libre y no de la humedad total, porque para cualquier materia, siendo constantes la temperatura y la humedad del medio secante, la velocidad de secado es cero cuando la humedad libre es también cero.

El periodo I_0 es esencialmente inestable y durante el mismo las condiciones del secado se ajustan a las del régimen estacionario representado por el periodo I .

Si el sólido inicialmente está frío, es decir por debajo de la temperatura de saturación adiabática del agente secante, el mecanismo de secado se explica porque, debido a la transferencia de calor que tiene lugar desde las gases calientes a la superficie húmeda y fría del sólido, la temperatura del agua se eleva y se evapora después tomando también su calor latente del gas caliente. El calor se aprovecha también para aumentar la temperatura de la superficie y la temperatura media del sólido. El agua se evapora porque la presión de vapor del agua que moja el sólido es mayor que la presión parcial del vapor de agua en el medio secante. Al aumentar la temperatura de la superficie aumenta la cantidad de agua evaporada y disminuye la velocidad de transmisión calorífica hacia el sólido; después de poco tiempo, el calor transmitido es igual al necesario para la evaporación del agua y cuando se alcanza la temperatura de bulbo húmedo, la cantidad de agua evaporada es constante.

Cuando la temperatura inicial del sólido sea la de saturación adiabática del medio secante no aparecerá el período inicial, por lo que el secado comenzará ya con una velocidad constante.

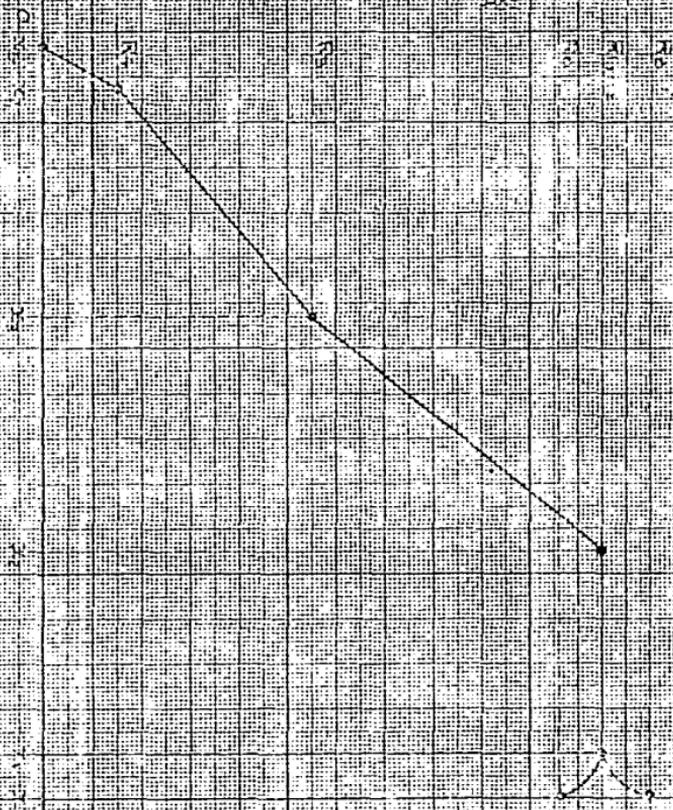
Período I, o período en que la velocidad de secado es constante. Comienza cuando la humedad libre es F_1 , y termina cuando la humedad crítica es F_2 . Cuando el secado se lleva a

cabo en una charola aislada, este periodo se caracteriza porque la velocidad de secado es uniforme y porque la temperatura en la superficie y en el interior del sólido es constante. Este es el periodo de régimen estacionario que se alcanza al final del periodo I₁, y se mantiene mientras llegue a la superficie del producto la misma cantidad de agua que se evapora. Cuando no es así, la velocidad disminuye y termina el Periodo I de velocidad constante. Por tanto, su duración depende fundamentalmente del mecanismo por el que el agua se desplaza dentro del mismo sólido.

El periodo II es el primero de velocidad decreciente y comienza con la humedad libre F_2 y termina en la F_3 . Se caracteriza por una disminución en la cantidad de agua evaporada por unidad de tiempo, porque la superficie de evaporación se desplaza hacia las capas internas del sólido húmedo. Como el calor suministrado no varía, la temperatura en la nueva fase de evaporación aumenta hasta llegar a la de equilibrio. A medida que el secado avanza, la superficie mojada disminuye hasta hacerse igual a cero.

El periodo III es el segundo de velocidad de secado decreciente; se inicia en F_3 , cuando ha cesado el flujo capilar hacia la superficie, y continúa por mucho tiempo hasta que $F = 0$, en que la humedad del producto es la de equilibrio, x^* . Este periodo se caracteriza por existir evaporación subsuperficial exclusivamente y como el agua debe evaporarse cada vez esta mas lejos de la superficie, el calor

Vertical Stressing Diagram



Vertical Stressing

Horizontal Stressing

Vertical Stressing	Horizontal Stressing
0	0
10	10
20	20
30	30
40	40
50	50
60	60
70	70
80	80
90	90
100	100

necesario para su evaporación debe penetrar hasta el interior del producto parcialmente seco, cuya temperatura superficial se aproxima, pero no es igual, a la temperatura del gas secante, T_g .

En nuestro caso en concreto, la temperatura del aire no debe ser mayor de 90°C pues de lo contrario se dañaría la película gelatinosa recién formada de cromato que todavía es susceptible de ser afectada por una temperatura elevada.

Por todo lo anterior, y considerando que vamos a utilizar aire en movimiento, aunque de hecho se lleva a cabo un proceso de transferencia de calor que se ve fomentado por la temperatura a la que llegan las piezas, también se lleva a cabo en forma muy importante un proceso de transferencia de masa debido al gradiente de humedades entre la del aire a condiciones ambientales y de saturación del aire ya calentado.

Por otro lado nuestro sólido es no poroso lo que facilita el proceso de secado de la película superficial de líquido sobre las piezas.

Existen varias alternativas en cuanto al diseño del secador más adecuado. Para su selección necesitamos fijar varias condiciones, entre las que destacan la necesidad de evitar un movimiento exagerado de las piezas que debido al proceso de cromatizado son muy susceptibles a rayarse hasta

que la película gelatinosa se endurezca.

En la industria de la galvanoplastia es muy común el uso de secadores centrifugos que aunque son de reducido tamaño y fácil manejo, llegan a rayar las piezas ya tratadas con lo que la calidad del recubrimiento se deteriora considerablemente.

Otro secador utilizado especialmente en países europeos es el de vacío en línea. Se trata de una estación extra dentro de la línea de tanque de proceso en la cual el barril al entrar cierra totalmente el tanque, en el que se produce un bajo vacío por medio del cual todo el agua se evapora instantaneamente. Aunque es un excelente método, no se ha extendido mucho por dos motivos básicos, su elevado costo y la necesidad de un sofisticado sistema de control.

Por todas estas razones, nos vemos obligados a pensar en un método mas convencional tal como un secador de charolas con aire caliente.

Antes que cualquier otra cosa, debemos fijar las condiciones de operación de nuestro secador. La temperatura del aire no debe exceder los 80°C (176°F) para evitar dañar la recién formada capa de cromato de cinc. Para nuestros cálculos fijaremos 70°C (158°F).

Si consideramos que nuestra planta estará situada en

Huixquilucan, en el Edo. de México, recurrimos a la norma AMICA-2-1955 donde se nos fijan como temperaturas recomendables de cálculo $T_b = 30^{\circ}\text{C}$ (86°F) y $T_{db} = 18^{\circ}\text{C}$ (64.4°F).

Para la salida del secador, consideramos un 80% de las condiciones de saturación del aire a 70°C considerando como poco importante la transferencia de calor entre el medio secante y las piezas pues están prácticamente a la misma temperatura.

Considerando que manejamos 13.5 barriles/Hora, el tiempo entre cargas es de 4.44 minutos. Si pensamos en carros con charolas que se llenan e introducen al secador, podemos pensar que necesitamos esperar tres cargas con un tiempo de llenado de las charolas de 5 minutos, por lo cual tenemos como tiempo de secado 8.32 minutos.

Cada barril contiene 982 piezas aproximadamente, si tenemos que el área de cada pieza es de 0.08 dm^2 ya considerando espacios vacíos, necesitamos:

$$A = 982 \times 3 \times 0.08 = 235.68 \text{ dm}^2$$

$$A_{\text{total}} = 235.68 \text{ dm}^2 \times 1.1 = 260 \text{ dm}^2 = 2.6 \text{ m}^2$$

esto considerando un 10% por acomodo al azar.

Si pensamos en charolas de 60 cm x 80 cm, tenemos un

DATOS DE VERANO PARA LA REPUBLICA MEXICANA
CON TEMPERATURAS EXTERIORES DE CALCULO (SEGUN NORMA AMICA-2-1955)

Estado	Posición geográfica		Altitud	Presión atmosférica		Temperatura máxima extrema	Temperatura de calculo					
							seca T húmeda					
							Limite inferior		Recomendable		Limite superior	
t _o	t _h	t _o	t _h	t _o	t _h							
Huixquilucan	19°22'	99°22'	2700	740	555	31.9	29	17	30	18	31	18

área de 0.48 m^2 por charola de modo que necesitamos

N° de charolas = $2.6 \text{ m}^2 / 0.48 \text{ m}^2 = 5.42 \Rightarrow 6$ charolas.

Calculamos un carro de 1 m de altura acomodando tres charolas una sobre otra separadas por 20 cm, 1.40 m de ancho utilizando dos charolas por nivel y 1.0 dm de largo.

Debido a la temperatura a la que salen las piezas y a la espera que deba tener al entrar al secador, la cantidad de agua a secar realmente no es muy grande, hablando de unos 6 gramos por pieza. Recordemos que aunque parece mucho, las piezas tienen una serie de recodos y partes de donde el agua no sale con facilidad.

Agua a evaporar = $982 \times 3 \times 6 = 17.676 \text{ g} = 17.67 \text{ kg}$

Ahora necesitamos consultar una carta psicrométrica para ver nuestros requerimientos de aire caliente. En este caso utilizaremos un programa de computadora que simula una carta psicrométrica a cualquier presión indicada.

Regresando al AMICA-2-1955 tenemos que la presión barométrica es de 555 mmHg.

Los resultados son

$H_1 = 0.01282 \text{ lb agua/lb aca}$

```

100 PRINT "Propiedades termodinamicas del aire"
110 PRINT
120 PRINT
130 PRINT "Presion barometrica (pulgadas mercurio)=";
140 INPUT P
150 PRINT "Temperatura de bulbo seco (grados F)=";
160 INPUT T1
170 PRINT "Temperatura de bulbo humedo (grados F)=";
180 INPUT T2
190 PRINT
200 PRINT
210 REM chequear datos
220 IF T1=T2 THEN 270
230 PRINT "La temperatura de bulbo humedo no debe exceder a la temperatura de bu
bo seco"
240 PRINT "La temperatura de bulbo humedo no debe exceder a la temperatura de bul
bo seco"
250 GOTO 150
260 REM convertir a Rankin
270 T4=(T2+459.688)/1.8
290 GOSUB 1020
300 P8=P1
310 REM convertir a Rankin
320 T4=(T1+459.688)/1.8
340 GOSUB 1020
350 P9=P1
370 W1=.622*P9/(P-P8)
380 IF T1<32 THEN 450
390 IF T2<32 THEN 450
400 W1=1043.049+.441*(T1-T2
410 T1=.291+.441*W1
420 T2=W1-.71*(T1-T2)/H1
430 P2=P1*12/(.622+T2)
440 GOTO 470
450 P2=P8-.0005704*(P1*(T1-T2)/1.8
460 W=.622*P2/(P-P2)
470 W=.622*P2/(P-P2)
490 P=.24*(T1)+(1.061+.444)*.rw
510 T3=T2
520 IF T1=T2 THEN 590
530 L=LOG(P2)
540 IF P2<.18036 THEN 570
350 T3=79.047+20.579*L+.0893*L*L
560 GOTO 590
570 T3=7.92+4.873*L+.8727*L*L
590 V=.284*(T1+459.7)*(1+7000*W/4500)/P
610 R=(P2/P9)*100
620 PRINT "Temperatura punto rocio (grad F) = ";T3
640 PRINT "Presion de vapor (pulgadas Hg) = ";P2
650 PRINT "Relacion de humedad = ";W
660 PRINT "Volumen mezcla aire (ft3/lb) = ";V
670 PRINT "Entalpia (BTU/lb) = ";H
680 PRINT "Humedad rel. (%) = ";R
700 PRINT "Volver a empezar con nuevos datos (S/N)";
710 INPUT S
720 IF S#15 THEN 110
730 IF S#0 "N" THEN 700
740 GOTO 1020
1010 G1=7.0123
1020 G1=5.0123

```

```
1040 A3=-1.7815E-07
1050 A4=11.722
1060 A5=3.177101E-03
1070 A6=-3.4914E
1080 B1=-9.9771E1
1090 B2=-0.5466E
1100 B3=.5767E
1110 B4=.0000E
1120 IF 14.0277.15 THEN 1150
1130 Z=373.16/74
1140 C1=41*(Z-1)
1150 C2=A2*(LOG(Z)/LOG(10))
1160 C3=A3*(10**A4*(1-1/Z))-1)
1170 C4=A5*(10**A6*(Z-1))-1)
1180 GOTO 1250
1190 Z=373.16/74
1200 C1=31*(Z-1)
1210 C2=C2*(LOG(Z)/LOG(10))
1220 C3=C3*(1-1/Z)
1230 C4=LOG(B1)/LOG(10)
1240 P1=29.7014*(10*(C1-C2+C3+C4))
1250 RETURN
1260 END
```

$H_a = 0.4527 \text{ lb agua/lb acs.}$

si considero 80% de saturación

$H_a = 0.36 \text{ lb agua/lb acs} = 0.36 \text{ kg agua/kg acs.}$

Masa de aire = $17.67 \text{ kg agua} / (0.36 - 0.01282) = 50.49 \text{ kg acs.}$

Masa de agua con aire = $50.49 \text{ kg acs} (0.01282 \text{ kg agua/kg acs}) = 0.65 \text{ kg agua}$

Masa de aire total = $50.49 + 0.65 = 51.14 \text{ Kg aire húmedo en 8.32 min.}$

V mezcla de aire agua = $21.67 \text{ ft}^3/\text{lb} = 0.27 \text{ m}^3/\text{kg}$

Masa de aire total = $65.15 \text{ Kg aire/min.}$

V total aire = $16.44 \text{ lb aire} \times (21.67) = 356.25 \text{ CFM} = (9.97 \text{ m}^3/\text{min})$

Ahora si consideramos una recirculación de aire del 50%, valor tradicional para este tipo de secadores, tendríamos que:

Humedad promedio = $(0.36 + 0.01282) / 2 = 0.19 \text{ kg agua/kg acs}$

Masa de aire = $17.67 \text{ kg agua} / (0.36 - 0.19) \text{ Kg agua/kg acs} = 103.94 \text{ kg de acs}$

Volumen de aire que entra = $(103.94 \times 2.67 \times 21.67) / 2 = 3010 \text{ ft}^3/\text{periodo} = (84.28 \text{ m}^3/\text{periodo})$

Si el periodo es 8.30 minutos

$$3010 \text{ ft}^3/\text{periodo} / 8.30 \text{ m}/\text{periodo} = 362.65 \text{ CFM} = (10.15 \text{ m}^3/\text{min})$$

y tendra que calentar este aire, considerando

$$\text{Masa aire completamente seco} = 52 \text{ kg}$$

$$\text{Masa de agua en aire} = 0.67 \text{ kg}$$

$$\text{Masa total} = 52.67 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de la mezcla} = 21.67 \text{ ft}^3/\text{lb} \times 2.67 \times 52.67 = 3047.43$$

$$\text{CFM} = 367.16 \text{ CFM} = 10.28 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q = m H$$

$$Q = ((52.67/8.3) \times 60)(444 \text{ BTU}/\text{lb} - 34.73 \text{ BTU}/\text{lb})2.67 =$$

$$Q = 380.75(409.27)2.67 = 416,064.91 \text{ BTU}/\text{Hora.} = 153.944$$

$$\text{kcal}/\text{hr}$$

CAPITULO 6

6.1 RECTIFICADORES

La función global de un rectificador es la de convertir la corriente alterna en corriente directa. Michael Faraday en sus experimentos sobre conducción de electricidad en soluciones, concluyó que la masa depositada de un elemento es directamente proporcional a la cantidad de carga eléctrica, a la masa atómica del elemento e inversamente proporcional a su valencia. La parte que nos concierne en este capítulo es la de la carga eléctrica. El flujo unidireccional de corriente provisto por un rectificador es la carga que permite el depósito de material en soluciones de electrodeposito.

La evolución de generación o conversión de corriente eléctrica en el mercado de electroacabados ha tomado dos caminos principales. Las unidades de motor generador, o método electromecánico de generación de corriente directa fueron la primera fuente de alta intensidad y bajo voltaje. El segundo método es el rectificador, que convierte estaticamente la corriente alterna a corriente directa.

Cada rectificador tiene cuatro componentes fundamentales subensamblados. Las variaciones de éstos proveen las características de salida deseadas, eficiencia, control y rentabilidad.

El regulador : La función del regulador es proveer un medio para que el voltaje de salida pueda ser ajustado en el rango deseado y al nivel deseado. Esto se lleva a cabo ajustando el alto voltaje de corriente alterna de entrada y puede tomar la

forma de un transformador, reactor saturable o un rectificador controlado por silicón (SCR). El nombre asignado a un tipo dado de rectificador esta normalmente relacionado al tipo de aparato regulador usado. En rectificadores automáticos, un control automático trabaja en conjunción con el regulador para desarrollar funciones de control automático.

Transformador principal : Este aparato desarrolla la función de pasar el voltaje de corriente alterna del regulador a un valor más alto o más bajo de voltaje de corriente alterna para usarse en el aparato de rectificado.

Rectificador : La función del rectificador es convertir el voltaje de corriente alterna al voltaje de corriente directa. En este caso, el nivel relativamente bajo de corriente alterna fuera del transformador se convierte a voltaje de corriente directa de bajo nivel. El elemento rectificador puede tomar la forma de oxido de cobre, sulfuro de cobre-magnesio, selenio, germanio o silicón.

Enfriador : Debido a las grandes cantidades de corriente que se manejan en la mayoría de los rectificadores una de las más importantes consideraciones de diseño es un apropiado enfriamiento. Cualquier componente funcional en un rectificador es una fuente de problemas si no hay un enfriamiento apropiado. El enfriamiento puede ser por convección, aire forzado ó líquido, según se determine por

tamaño, lugar, aplicación y condiciones atmosféricas.

Hay cuatro formas básicas de aparatos reguladores en uso. Cada una tiene sus ventajas y desventajas, como son eficiencia, rango de regulación, tamaño, peso y costo.

El regulador de "cambiador de derivaciones" utiliza las "derivaciones" en un transformador para liberar un voltaje discreto de salida. Normalmente el voltaje de salida puede ser ajustado en 22 a 44 pasos. Este tipo de unidad no es generalmente usada donde se requiere un adecuado control y regulación.

El regulador de transformador variable es muy similar en operación al de cambiador de derivaciones, excepto en que es infinitamente variable sin pasos discretos. Cuando es operado por un motor es adaptable a controles automáticos.

El regulador de núcleo saturable consiste en un núcleo de hierro con varios juegos de alambrados conductivos. La regulación del voltaje de salida tiene lugar por variación de grados de saturación magnética del núcleo de hierro, que regulará finalmente la salida del rectificador. Normalmente el rango de control está limitado desde un 10 a un 100 % de salida. Ahí son valiosos estos rectificadores que irán de un 2 a un 100 % de salida. Una característica de éstos que puede ser no deseable en una aplicación, es que sin carga en el tanque, el voltaje de salida va al máximo. Se requiere de una carga de aproximadamente el 5 % para que el control de salida

se nivele. Si esto es indeseable en una aplicación dada, se puede especificar una precarga artificial con cargas muy pequeñas. La eficiencia de un reactor saturable es menor que la de otros métodos de regulación. El control saturable se puede usar en conjunción con un circuito electrónico asociado para cumplir las funciones del control automático como son el control automático de voltaje, control automático de corriente y densidad de corriente promedio automática.

El transformador maestro : Un transformador cambia voltaje alterno de un valor a otro. Físicamente un transformador es simplemente un núcleo alrededor del cual hay una o dos redes de embobinado. En transformadores de potencia, el núcleo está hecho de acero laminado. El alambrado que alimenta el voltaje alterno se llama primario y en el que se da la salida es el secundario. La transferencia de energía eléctrica del primario al secundario se realiza por líneas de flujo magnético.

Algo importante del transformador es que la relación del voltaje entre el primario y el secundario está determinada por la relación del número de vueltas de cada uno.

Circuito de rectificado : La combinación del transformador principal o maestro y el rectificador es el circuito de rectificado. Factores que son de vital importancia y deben observarse son :

1.- El "rizo" (interferencia) en circuitos de una fase es alto. Los costos de una fase sencilla son bajos por su simplicidad, pero el rango de potencia es limitado.

2.- La rectificación trifásica de media onda es barata, pero el rizo es alto.

3.- Los circuitos puente trifásicos se utilizan en unidades de alto voltaje. Son relativamente ineficientes en voltajes bajos.

Enfriamiento : En la tabla anexa aparecen los diferentes medios de enfriamiento y sus ventajas o desventajas.

Controles automáticos : Existe una amplia gama de controles automáticos para rectificadores. Su función es controlar la salida del rectificador obteniendo uno o varios de los siguientes resultados :

- a) Prevención de quemaduras en las piezas.
- b) Minimización en el uso de materias primas.
- c) Minimización en el uso de corriente eléctrica.
- d) Aumento en la calidad del producto terminado.
- e) Minimización de desperdicios.
- f) Minimización de la mano de obra.
- g) Repetitividad.
- h) Control de la densidad promedio de corriente.

TABLE I. Comparacion de Medios de Enfriamiento.

Metodo	Uso de agua	Taneno Paso	Nivel de ruido	Resist. corrosion	Descripcion
Conveccion Natural	Ninguna	Alto	Bajo	Pobre	Depende del calor del material a enfriar.
Aire Forzado	Ninguna	Medio	Alto	Pobre	Un ventilador causa movimiento de aire y enfria.
Agua Directa	Bajo	Bajo	Bajo	Excelente	Utiliza una fuente local de agua para enfriar uno o varios componentes.
Agua y aire forzado	Medio	Medio	Bajo	Excelente	Utiliza diodos enfriados por agua y un transformador enfriado por aire forzado.
Liquido directo con un cambiador de calor	Bajo	Bajo	Alto	Excelente	Utiliza un circuito cerrado de liquido con agua como medio de enfriamiento en el intercambiador externo.

En nuestro caso, es necesario calcular los rectificadores para el proceso de desengrase electrolítico y para el depósito de cinc.

En este caso, es necesario obtener información de un proveedor de productos químicos sobre sus soluciones en especial.

En el caso del desengrase electrolítico se recomienda 9 volts de salida y 10 amperes/dm² de densidad de corriente, y en el caso del depósito de cinc alcalino de bajo cianuro 13-15 volts y 4 amperes/dm².

Considerando estos valores, podemos calcular :

Área para depósito = 0.0965 dm²/pieza = 0.01042 pies²/pieza.

Capacidad del barril = 982 piezas

Área por barril = 982 X 0.0965 = 94.76 dm²

Densidad de corriente desengrase = 94.76 X 10 amperes/dm² = 947.6 amperes = 1000 amperes.

Densidad de corriente en cinc = 94.76 X 4 = 379 amperes/barril

Tres tanques de cuatro estaciones de cinc

Corriente por tanque de cinc = 379 X 4 = 1516 amperes

Por lo tanto necesitamos :

1 rectificador de 1000 amperes, 9 volts de salida de control

automático.

3 rectificadores de 1600 amperes, 15 volts de salida de control automático.

Obviamente no es recomendable conectar por medio de cables los soportes del barril con los rectificadores. Para este fin, utilizaremos solera de cobre que irá desde el rectificador hasta el tanque, conectándose de ambos lados del tanque a soportes de bronce en forma de "V", donde se asentarán los contactores del barril.

Si consideramos que el cobre puede conducir 1000 amperes/pulgada², esto quiere decir que en el desengrase necesitamos una sección transversal de 1 pulgada² en solera de cobre. Si consideramos tamaños comerciales, necesitamos dos soleras de 2" (50.8 mm.) X 1/4" (6.35 mm.) que rodeen el tanque. Se requiere también que en los cátodos se cuente con el área transversal adecuada.

En el caso del cinc, para cada tanque necesitamos

$1600 \text{ amp}/1000 \text{ (amperes/pulgada}^2\text{)} = 1.6 \text{ pulgadas}^2 \text{ de sección transversal. (1032.25 mm}^2\text{)}$

Es de suma importancia que estas soleras de cobre estén perfectamente aisladas del tanque correspondiente.

6.2 AUTOMATIZACION

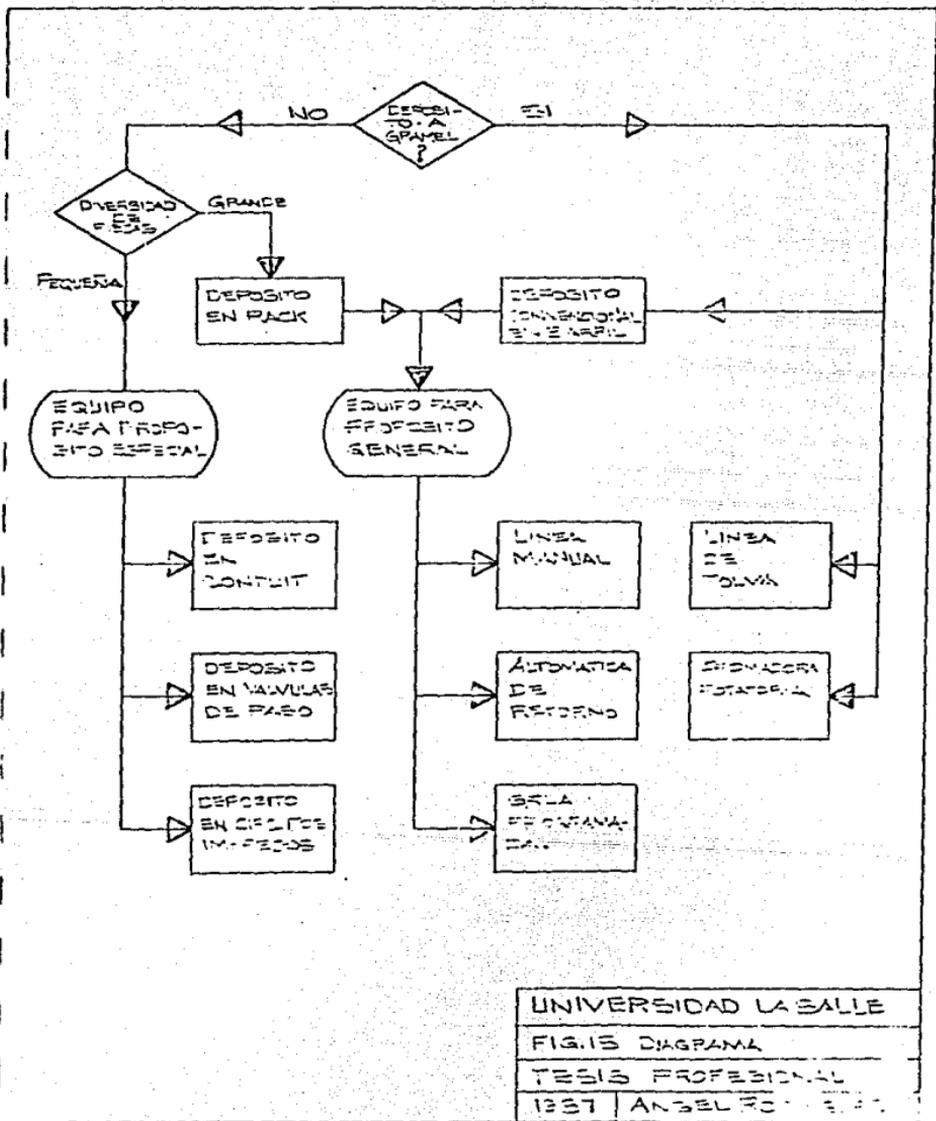
Es necesario considerar en el diseño de una planta de galvanosténcia el transporte de las piezas sobre las que se realiza el depósito. Para tal fin es necesario elaborar un diagrama de flujo de decisión como el que se presenta.

Nosotros estamos manejando piezas a granel en barril, de modo que tenemos tres alternativas : una línea manual con polipastos eléctricos, una línea de retorno con barriles oblicuos ó una línea de gruas automáticas programadas.

El primer caso, la línea manual con polipastos, presenta varios problemas. El principal de ellos, es el de una calidad heterogénea debido a que los tiempos de proceso son determinados por la ejecución de los operadores. Suponiendo que esto pudiera mejorarse con una operación excelente, siempre nos queda el problema de mucha mano de obra, pues debemos tener un operador por polipasto, que en nuestro caso serían cuatro, un operador en la carga y varios en la descarga y carga al secador. La determinación de cuatro bombas en la línea no proviene de un cálculo previo de la línea manual y que no forma parte de este trabajo.

El segundo caso, la línea de barriles oblicuos, es para muy altas producciones con un proceso fijo y presupone una inversión muy fuerte por lo sofisticado del mecanismo y al número de barriles abiertos oblicuos que se requieren.

El tercer caso, la línea de gruas automáticas



UNIVERSIDAD LA SALLE

FIG.15 DIAGRAMA

TESIS PROFESIONAL

1337 | ANGEL FORT...

programadas, es la más conveniente en nuestro caso, es decir en producciones no demasiado grandes que no requieren más de cinco gruas en serie sincronizadas. Requiere muy pocos operadores y es muy versátil, ya que pueden añadirse tanques y otra grua y se aumenta bastante la producción con una inversión relativamente baja.. Gracias a la programación de la grua, puede asegurarse una calidad muy uniforme en las piezas, con un buen cuidado del proceso químico. Una ventaja adicional es el evitar el manejo de los barriles, con lo que se incrementa su vida útil, así como la de otros accesorios.

La decisión adecuada considerando una mayor productividad de la línea y una disminución en los costos de producción para el renglón mano de obra, sin considerar además los problemas aunados a ésta es utilizar gruas programables sobre una línea de tanques de proceso, para nuestro caso particular.

Vamos a necesitar dos gruas sincronizadas para la producción requerida, debido al número de movimientos que tienen que realizar.

Este tipo de grua viajera necesita dos motores uno de ascenso y descenso, y otro de movimiento longitudinal sobre la línea de tanques.

La definición de diseño de la grua depende totalmente del sistema de control a utilizar para sus movimientos. En la

actualidad este comenzando a utilizarse un sistema de control total de la línea, no sólo en cuanto a las gruas sino en cuanto a bombas, controles de temperatura y de nivel, ventiladores de agitación y extracción ,etc, por medio de una microcomputadora de tipo industrial de fácil manejo especialmente cuando se trata de fabricación de circuitos impresos. Es un sistema sumamente útil que puede controlar todas las variables de la línea. Hasta ahora lo más usual en este tipo de problema de control era un programador industrial.

Para nuestro caso, vamos a utilizar una computadora personal, que puede manejar simultáneamente las dos gruas sincronizadas.

A continuación aparece la tabla 2 que nos muestra todas las variables que pueden manejarse a través de la computadora.

Aunque estas son las posibilidades, nuestra línea no requiere un sistema de control tan sofisticado, que más bien sería para una línea de fabricación de circuitos impresos.

Para nuestro caso la temperatura, el nivel de líquidos y los rectificadores son los únicos que junto con las gruas, serán controlados desde la microcomputadora.

Basicamente nuestro sistema de control tendría la

	<u>Monitoreo.</u>	<u>Control.</u>	<u>Arriba del punto fijado.</u>	<u>Abajo del punto fijado.</u>	<u>Arriba del nivel de alerta.</u>	<u>Abajo del nivel de alerta.</u>	<u>Control encendido/apagado.</u>	<u>Lecturas diferenciales.</u>	<u>Alarma externa.</u>	<u>Status de control.</u>
<u>Temp. del baño.</u>	X	X	X	X	X	X	X		X	
<u>Cond. del baño.</u>	X	X	X	X	X	X	X		X	
<u>Ph del baño.</u>	X	X	X	X	X	X	X		X	
<u>Niveles de líquido.</u>	X	X					X		X	
<u>Gastos.</u>	X				X	X			X	
<u>Presiones fluido.</u>	X				X	X		X	X	
<u>Euf. por espreas.</u>		X					X			X
<u>Rectificadores.</u>	X	X			X	X	X		X	

Parametros de la línea (computerized control system for wet procesing lines).

John H. Schrut.

Metal Finishing - Nov.-1986.

estructura mostrada en la figura 14.

Este sistema de control nos permite manejar gruas con motores de velocidad variable.

Las gruas o transportadores deben utilizar dos motores de velocidad variable, uno de ascenso y descenso y otro de movimiento longitudinal a través de la línea de tanques.

Además las gruas utilizan elevadores que van montados en canales laterales. Este tipo de sistema de elevación tiene una cadena motriz construida en tal forma que si el interruptor de límite superior o inferior no funciona, el mecanismo continúa subiendo o bajando hasta que la máquina sea desconectada; esto es una medida de protección.

Las gruas deben contar con cables conductores planos de uso rudo, que se sujetan en un ensamble de rodillos.

Un factor importante es que la grua pueda ser operada en forma manual en caso de cualquier accidente.

Estas gruas tienen mecanismos de seguridad que veremos a continuación :

1) Detención en caso de estar ocupado el lugar. La grua no puede depositar una carga en un tanque que ya está ocupado, esto se completa por medio de un fotoemisor situado en una de

las patas de la grua y un reflector situado en la pata contraria.

2) Protección para el ensamble en la descarga.

3) Detención del recorrido. En caso de fallar la detención por el sistema de fotoceldas, la grua se detiene al final de la línea.

El sistema automático, utiliza una suspensión de tres soportes y un sistema motriz. Los dos soportes externos se usan para el transporte de las gruas en los ensambles de suspensión. El soporte interno se utiliza porque en los soportes exteriores esta una luz de estación que cuando se energiza actúa sobre los elementos fotosensibles localizados en la grua.

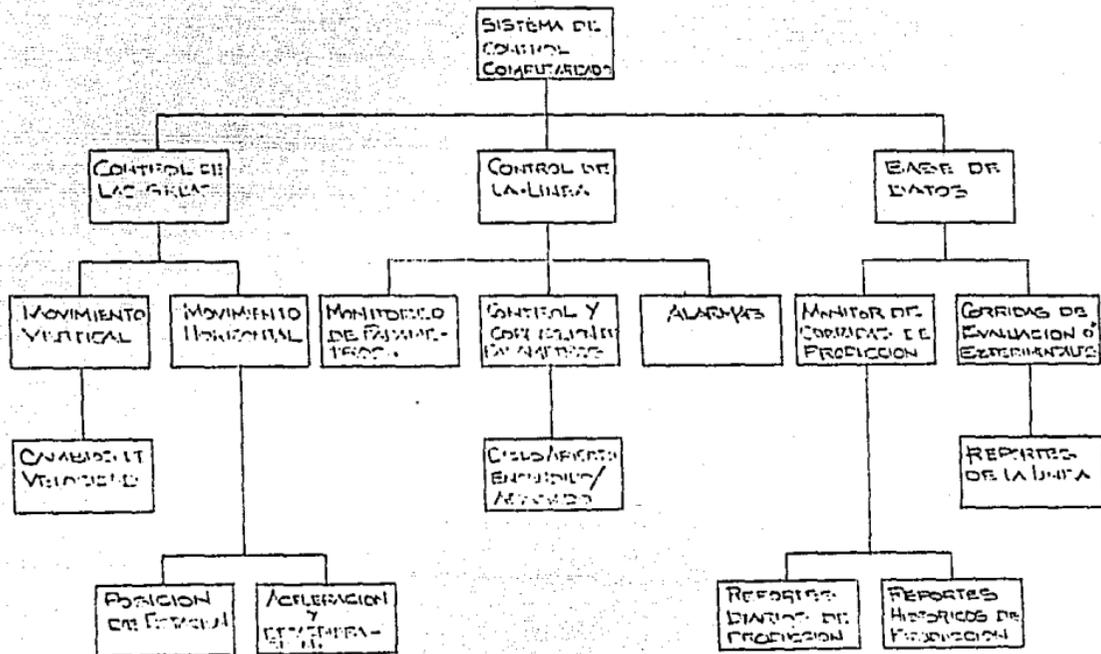
La interconexión entre las gruas y la computadora, se lleva a cabo por medio de los llamados módulos I/O o transformadores analógico-digitaes, al igual que con los controles de nivel y temperatura y los rectificadores que son operados a control remoto desde la microcomputadora.

Gracias al sistema de luces de estación, la computadora sabe en todo momento el lugar en que esta cada transportador y qué esta haciendo ahí.

Una parte muy importante de la automatización es el

diseño de un paquete de control para la computadora que sea de fácil manejo para los operadores.

El hecho de tener los rectificadores conectados a la computadora es un gran avance, pues evita la formación de chispas o arcos eléctricos en el momento en que la carga es alzada por el transportador, pues para este momento el rectificador ya no esta pasando corriente.



UNIVERSIDAD LA SALLE
 FIG. 14 DIAGRAMA DE BLOQUES
 TESIS PROFESIONAL
 1997 ANGELO FOLINQUEZ

CAPITULO 7
MODULARIZACION

Este es un concepto global que abarca varias partes de la línea de electrodepósito. Estas son :

- 1- Líneas de tubería de drenajes de tanques
- 2- Líneas de tubería de alimentación de agua a los tanques
- 3- Líneas de alimentación de aire de agitación
- 4- Líneas de vapor y condensado a serpentines de calentamiento
- 5- Líneas de conexiones eléctricas
- 6- Bases metálicas de tanques

A continuación iremos analizando cada uno de estos renglones en el orden lógico de diseño.

BASES DE TANQUES

Este es un renglón de suma importancia y se refiere a los rieles sobre los cuales se asientan y anclan los tanques. En muchas instalaciones actuales podemos observar que los tanques se colocan directamente sobre el suelo; en otras los tanques se fijan en una trinchera. Ambas alternativas son poco recomendables, ya que las plantas de galvanosténcia son sucias y no es difícil que soluciones corrosivas caigan al suelo dañando y dañando seriamente el fondo de los tanques.

La mejor alternativa de diseño para resolver este problema es la colocación de los tanques sobre unos rieles

metálicos que pueden ser viguetas tipo "I" adecuadamente cubiertas con primario epóxico y pintura anticorrosiva. Sobre estas bases se coloca una capa de PVC flexible de tamaño superior al de las viguetas, con el objetivo de que cualquier líquido que caiga resbale sobre el PVC evitando que dañe la base. Después el suelo puede limpiarse con una manguera y agua corriente sin mayor problema. Otra ventaja es la posibilidad de trasladar nuevamente la línea a otro lugar, en caso de requerirse.

Viguetas "I" pueden servir como rieles y es necesario fijar los tanques desde sus pestañas con tornillería de Acero Inoxidable tipo 316. Abajo de estos rieles se colocan nuevamente viguetas "I" como costillas transversales, que evitan la necesidad de cimentación. Estas bases deben ser ancladas al suelo en forma apropiada. A continuación aparece la fig. 16 mostrando estas estructuras. Las distancias entre las costillas transversales deben obtenerse realizando un estudio de esfuerzo cortante y momento flexionante de la vigueta como se lleva a cabo con el programa de computación que aparece adelante.

Estas bases se aprovechan para soldar canales en el extremo longitudinal de la línea y perpendiculares a las mismas, de manera que se puedan sujetar las tuberías y cabezales a estas guías.

DRENAJES DE TANQUES

Todos los tanques de la línea deben tener en su parte inferior una salida para ser drenados. Esta salida, una vez que la planta esta operando permanece cerrada, sin embargo es muy importante que exista, pues tanto en el arranque como cuando se da mantenimiento a los tanques, éstos deben llenarse y limpiarse con agua, que se desecha para después proceder a una segunda limpieza con una solución de ácido sulfúrico diluido. Posteriormente el tanque se llena de soluciones químicas.

A pesar de todo esto, la verdad es que el único drenaje que permanentemente funciona es el de los rebosaderos de los tanques de enjuague y desengrase, que derraman el agua sucia que sobrenadaba la superficie de los tanques. Por este motivo, el cabezal de desengrase se diseña conforme al gasto de los rebosaderos de la línea.

Por estos motivos, el drenaje inferior tiene, después de la brida, una válvula de globo que permanece normalmente cerrada. Sin embargo, el drenaje de los rebosaderos no tiene ningún cortador de flujo o accesorio:

Si consideramos que el nivel del agua suele estar unas 2" (50.8 mm.) abajo del nivel del rebosadero, el volumen de líquido que puede ser desplazado sin desbordar al rebosadero es :

$$V = 0.052 \text{ m}^3 = 52 \text{ litros} = 13.74 \text{ galones}$$

El volumen de agua que puede recoger el rebosadero es :

$$V = 0.017 \text{ m}^3 = 17 \text{ litros} = 4.58 \text{ galones}$$

Cuando el barril entra en el tanque, desplaza aproximadamente un 65 % de su tamaño, ya que debemos recordar que sólo esta lleno hasta la mitad de su volumen interno, pero los brazos y los engranes también desplazan agua.

$$V_{\text{barril}} = 98.84 \text{ litros}$$

$$V_{\text{desplazado}} = 98.84 \times 0.65 = 62.24 \text{ litros}$$

$$V_{\text{evacuado al entrar el barril}} = 62.54 - 52 = 12.24 \text{ litros}$$

También podríamos restarle un 75 % del volumen que acepta el rebosadero, pues no es conveniente que se llene por completo.

$$V_{\text{útil del rebosadero}} = 17 \text{ litros} (0.75) = 12.75 \text{ litros}$$

$$V_{\text{evacuar}} = 12.24 - 12.75 = - 0.51 \text{ litros}$$

Esto nos demuestra que el rebosadero fue bien calculado, pero este volumen de agua debe ser eliminado cuando el barril se vaya y antes de que lleque el siguiente, lo cual significa que tenemos al menos tres minutos para tal efecto, por lo tanto

$$62.24 \text{ litros/3 minutos} = 20.75 \text{ litros/minuto} = 5.48 \text{ GPM}$$

esto implica, según el programa con la Ec. de Hazen y Williams un diámetro de 1" (25.4 mm.).

Este programa utiliza la conocida expresión

$$F = 0.2083 \times (100/C) \times G^{1.85} \times L \times D^{-4.85}$$

donde:

F = pérdidas por fricción en pies de agua

C = flujo de agua en galones

G = caudal de agua en GPM

D = diámetro interior de la tubería en pulgadas

L = longitud de la tubería en pies

Ahora para el cálculo del cabezal, debemos considerar que 10 tanques tienen rebosadero, es decir el flujo de agua será

$$10 \times 5.48 \text{ GPM} = 54.8 \text{ GPM} = (208.25 \text{ l/min})$$

Ahora, sólo contamos en presión, con lo que nos puede dar la altura del rebosadero, es decir 34", por lo que las pérdidas por fricción deben ser a lo sumo iguales a las 34" de altura de agua, para que con un pequeño declive, el

liquido circule sin problemas.

En este caso es conveniente usar tubería de PVC para evitar problemas de corrosión y cedula 80, ya que está muy a la altura de los operadores y no es difícil que reciba algún golpe.

Al correr el programa mencionado con los datos específicos para este problema, encontraremos que el diametro optimo es 3" (76.2 mm.)

ALIMENTACION DE AGUA.

Todos los tanques requieren de una línea de tubería de llenado de agua, aunque la mayoría de ellos, solo la necesitan cuando por primera vez se llenan las tinas o despues de haber sido vaciadas para mantenimiento.

Los únicos tanques que requieren de una alimentación constante de agua, son los enjuagues. Es por esto, que el cabezal de distribución de agua se va a diseñar en base a estos baños.

Como se calculó previamente, el volumen desalojado es de 5.48 GPM (21 l/min), es decir, esta es la cantidad de agua que debe alimentar.

En estas líneas hay varios detalles que se deben cuidar, el primero de ellos es que la tubería debe llegar hasta el fondo del tanque y de lado contrario al rebosadero. El problema de poner esta tubería muy superficial es que si está arriba del nivel del líquido, salpica hacia fuera del tanque, y si está sólo un poco abajo del nivel, entonces el agua limpia se estará saliendo por el rebosadero, lo cual obviamente no es deseable.

Otro importante detalle, es que además de colocar válvulas de globo para detener el flujo de agua cuando no se requiera, se deben colocar válvulas rompedoras de sifón. Estos accesorios son similares a las válvulas check, pero con una entrada de aire y evitan que debido al efecto sifón, el líquido regrese a la tubería.

En estas líneas debemos calcular la caída de presión para ver el diámetro a utilizar y la presión requerida del agua para la instalación.

La máxima caída de presión es la debida a las pérdidas por fricción hasta la última salida de agua de la línea y a la del líquido al subir hasta el tanque.

Si calculamos estas caídas de presión, obtenemos un valor de 2.74 lb/in² (105 mm Hg) para un diámetro de cabezal de 2" (50.8 mm). En cuanto a las pérdidas por fricción para la línea ascendente de tubería de alimentación, supone 0.67

(35 mm Hg) lb/in² para un diámetro de 1/2 " (12.52 mm).

Ahora si la altura del tanque es 36" (0.914 m.)

36 in X 62.4 lb/ft³ = 187.2 lb/ft³ => 1.3 lb/in² (67.2 mm Hg.)

Esto significa que si sumo las caídas de presión parciales, debe darme la pérdida total de presión y por lo tanto la presión que debo suministrar con una bomba

$P_r = 2.74 \text{ lb/in}^2 + 0.67 \text{ lb/in}^2 + 1.3 \text{ lb/in}^2 = 4.71 \text{ lb/in}^2$
(243.5 mm Hg)

En el caso de esta bomba, que ya no es parte de la línea, se recomienda un ligero sobrediseño.

Las caídas de presión en la tubería por fricción, se calculan sumando las longitudes equivalentes de los accesorios a la longitud total de la línea.

AIRE DE AGITACION

Igual que en los casos anteriores y considerando que se estan manejando distancias cortas para los volúmenes de fluidos involucrados, se piensa por motivos prácticos en un cabezal de un solo diámetro.

Aquí estamos hablando de un volumen de 140 CFM, por lo que:

$$140 \text{ CFM} / 2500 \text{ ft/min} = 0.056 \text{ ft}^2 \text{ (} 0.005 \text{ m}^2 \text{)}$$

$r = \sqrt{(0.056 \text{ ft}^2 / \pi)} = 0.1335 \text{ ft} = 1.6"$, es decir un cabezal de 3" de diámetro (76.2 mm.).

Para cada estación

$$13.76 \text{ CFM} / 2500 \text{ ft/min} = 0.00554 \text{ ft}^2$$

$$r = \sqrt{(0.00554 \text{ ft}^2 / \pi)} = 0.0418 \text{ ft} = 0.5 \text{ in (12.7 mm.)}$$

es decir un diámetro de 1". (25.4 mm.)

Esta tubería debe ser fijada al fondo de los tanques con soportes que la detengan, pues como sólo lleva aire, durante la operación tendría la tendencia de flotar y se doblaría.

VAPOR Y CONDENSADO

Quando se diseña una línea de electrodepósito, es necesario hacer varias consideraciones que las diferencian mucho de una planta de otro tipo, por ejemplo en este caso el vapor que se maneja es de muy baja presión y en volúmenes realmente pequeños, por lo que aún el aislamiento no es muy importante en estas tuberías.

Se requieren 1,180.97 lb vapor / hora que equivalen a
1,181 lb vapor X 26.8 ft³/lb = 31,650.8 ft³

31,650.8 ft³/Hr = 896.25 in³/Hr = 896,250 litros/Hr = =
336,789.96 GPH = 5,613.166 GPM

Según Crane para vapor saturado se recomiendan los
siguientes datos

Vapor	Presión Psig	Servicio	Vel. razonable ft/min
	0 a 25	Calentamiento	4,000 - 6,000
Saturado			
	25 en adelante	Equipo de potencia y proceso	6,000 - 10,000

Por lo tanto: 31,650.8 ft³/Hr = 527.51 ft³/min =
(14.76m³/min)

Area del ducto = 527.51 ft³/min / 5,000 ft/min = 0.1055
ft² = (0.01 m²)

$r = \sqrt{(0.1055 \text{ ft}^2 / \pi)} = 0.1832 \text{ ft} = 2.199 \text{ in} (55.85 \text{ mm})$

es decir un diámetro de 5" (127 mm)

También se considera una cédula 80 para las tuberías de PVC

Para cada desengrase

$$170.74 \text{ lb/Hr} \times 26.8 \text{ ft}^3/\text{lb} = 4,575.83 \text{ ft}^3/\text{Hr} \quad (128.12 \text{ m}^3/\text{hr})$$

$$\text{Area de tubería} = 4,575.83 \text{ ft}^3/\text{Hr} / 60 \text{ min} \quad (5,000 \text{ ft}^3/\text{min}) =$$

$$0.01525 \text{ ft}^2 \quad (0.001 \text{ m}^2)$$

$$r = \sqrt{(0.01525 \text{ ft}^2 / \pi)} = 0.06967 \text{ ft} = 0.836" \quad (21.23 \text{ mm})$$

un diámetro de 1 1/2 " (38.1 mm)

Para el ejuague caliente

$$99.84 \text{ lb/Hr} \times 26.8 \text{ ft}^3/\text{lb} = 2,675.71 \text{ ft}^3/\text{Hr} \quad (75 \text{ m}^3/\text{hr})$$

$$\text{Area de tubería} = 2,675.71 \text{ ft}^3/\text{Hr} / 60 \text{ min} \quad (5,000 \text{ ft}^3/\text{min}) =$$

$$0.00892 \text{ ft}^2 \quad (0.001 \text{ m}^2)$$

$$r = \sqrt{(0.00892 \text{ ft}^2 / \pi)} = 0.0533 \text{ ft} = 0.64 \text{ in} \quad (12.26 \text{ mm})$$

un diámetro de 1 1/2 " (38.1 mm).

Para el Cinc

$$246.55 \text{ lb/Hr} \times 26.8 \text{ ft}^3/\text{lb} = 6,607.54 \text{ ft}^3/\text{Hr} \quad (185 \text{ m}^3/\text{hr})$$

$$\text{Area de la tubería} = 6,607.54 \text{ ft}^3 / 60 \text{ min} \quad (5,000 \text{ ft}^3/\text{min}) =$$

$$0.0220 \text{ ft}^2 \quad (0.002 \text{ m}^2)$$

$$r = \sqrt{(0.0220 \text{ ft}^2 / \pi)} = 0.837 \text{ ft} = 1 \text{ in} \quad (25.4 \text{ mm.})$$

es un diámetro de 2" (50.8 mm.)

Para el cabezal de condensado

$1.180.97 \text{ lb/Hr} \times 0.01672 \text{ ft}^3/\text{lb} = 19.74 \text{ ft}^3/\text{Hr} (0.553 \text{ m}^3/\text{hr})$

$19.74 \text{ ft}^3/\text{Hr} = 0.5588 \text{ in}^3/\text{Hr} = 588.8 \text{ litros/Hr} = 147.64 \text{ GPH}$

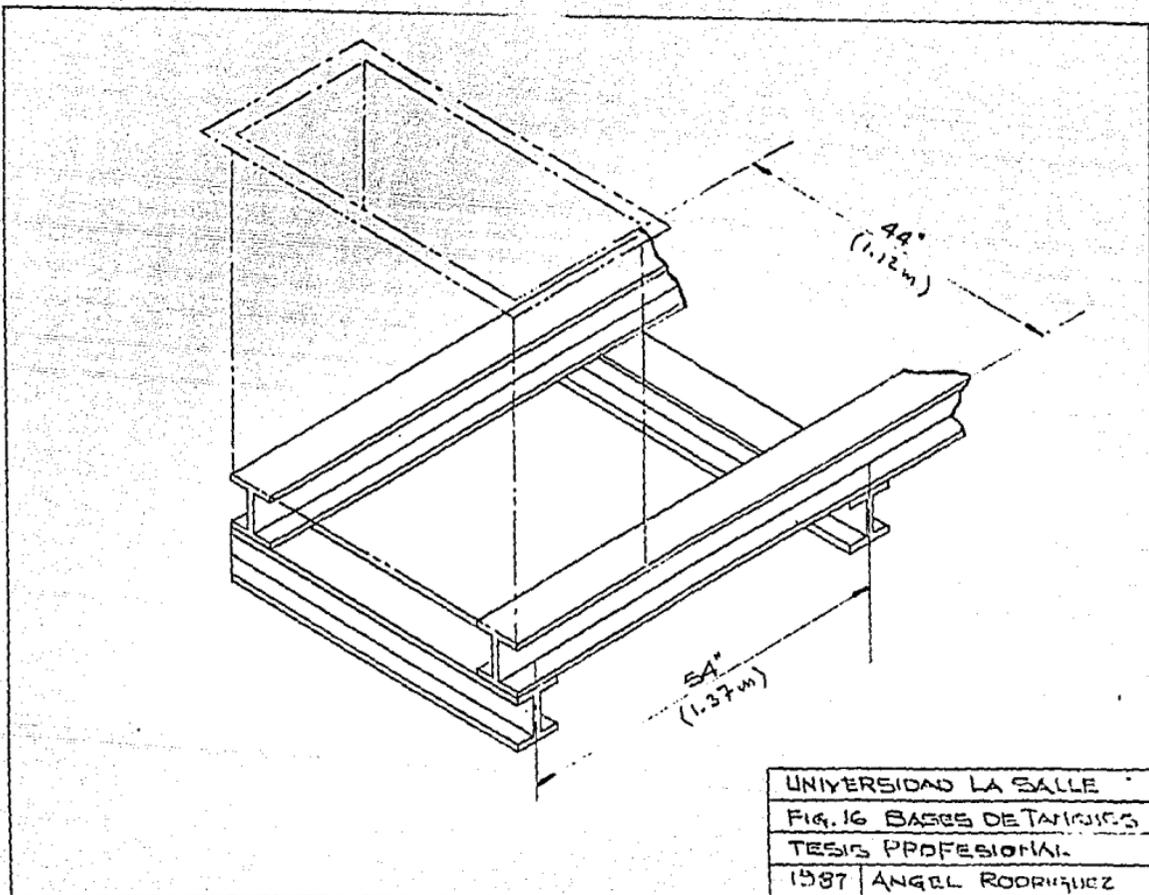
$147.64 \text{ GPH} = 2.46 \text{ GPM} (9.35 \text{ l/min})$

Con un diámetro de cabezal de $1/2'' (12.7 \text{ mm.})$ y de $3/8'' (9.52 \text{ mm.})$ en las salidas de los serpentines.

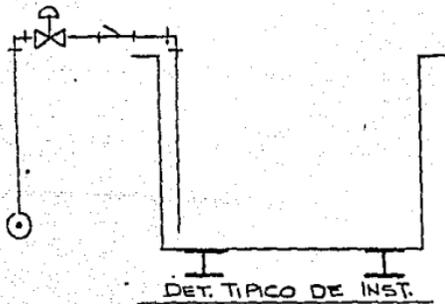
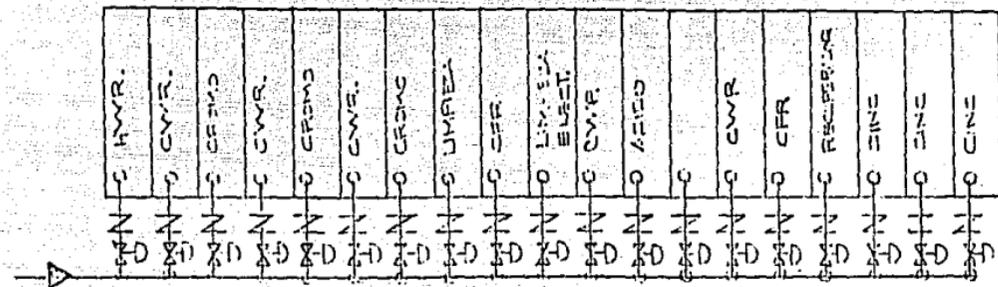
CONEXIONES ELÉCTRICAS.

Es muy obligatorio entubar todo el cableado eléctrico de los controles de nivel, temperatura, válvulas solenoides y bombas.

Se recomienda tubería de PVC cedula 80 de $2'' (50.8 \text{ mm.})$.



UNIVERSIDAD LA SALLE	
FIG. 16 BASES DE TANQUES	
TESIS PROFESIONAL	
1987	ANGEL RODRIGUEZ



Z-VALV. ROMPEDORA SIFON

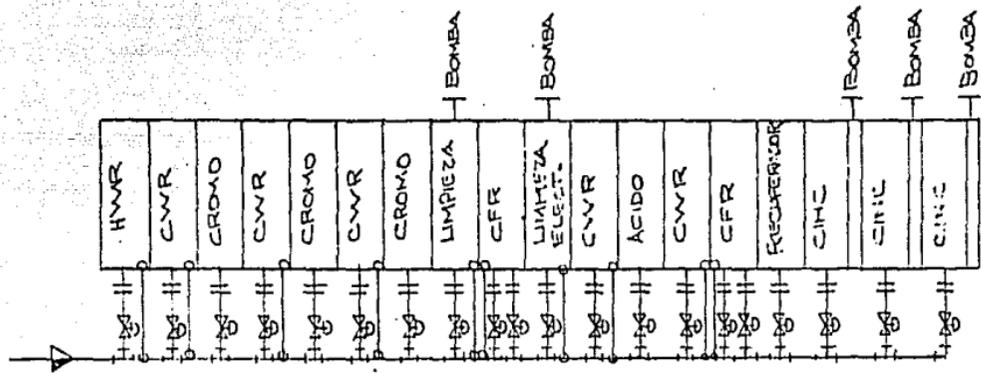
GX-VALV. DE BOLA

UNIVERSIDAD LA SALLE

FIG.17 LINEA DE ALUM. DE AGUA A TALL.

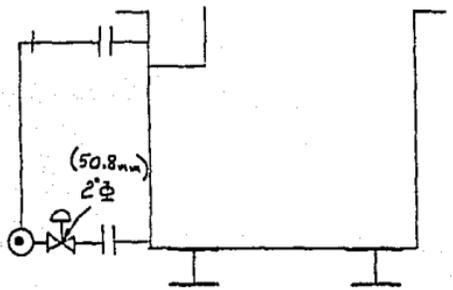
TÉCNICO PROFESIONAL

1987 ANGEL RODRIGUEZ



VISTA DE DRENAJES INFERIORES
 VISTA DE DRENAJES RESERVADOS

|| BRIDA
 ⊗ VALV. DE BOLA



DETALLE DE INTS. TÍPICA

UNIVERSIDAD LA SALLE
FIG. 18 LINEA DE DRENAJES
TESIS PROFESIONAL
1987 ANGEL RODRIGEZ

```

10 HOME
100 PRINT"PERDIDAS POR ROZAMIENTO EN UNA TUBERIA"
110 PRINT
120 DIM C(5),W(5),N1(12)
130 DIM D2(5,12),D1(5,12)
140 REM ==LEE DATOS DE LA TUBERIA==
150 FOR I=1 TO 12
160 READ N1(I)
170 NEXT I
180 FOR K=1 TO 5
190 READ C(K)
200 READ W(K)
210 FOR J=1 TO 12
220 READ D2(K,J)
230 READ D1(K,J)
240 NEXT J
250 NEXT K
260 PRINT"QUE TIPO DE TUBERIA -"
270 PRINT
280 PRINT"1 - COBRE TIPO L"
290 PRINT"2 - ACERO CEDULA 40"
300 PRINT"3 - PVC PLASTICO CEDULA-40 "
310 PRINT"4 - PVC PLASTICO CEDULA-80 "
315 PRINT"5 - COBRE TIPO K"
320 PRINT
330 PRINT"OPCION 1-4= ";
340 INPUT K
350 PRINT
360 PRINT"FLUJO DE AGUA (GALONES/MINUTO) = ";
370 INPUT G
380 PRINT"LONGITUD TOTAL DE LA TUBERIA (PIES) = ";
390 INPUT L
400 PRINT"TAMANO NOMINAL DE LA TUBERIA (.5-3 PULGADAS) = ";
410 INPUT N
420 PRINT
430 REM ==CHEQUEO DEL TAMANO DE LA TUBERIA==
440 IF N>8 THEN 400
450 J=1
460 IF N1(J)=N THEN 500
470 IF N1(J)>N THEN 500
480 J=J+1
490 GOTO 460
500 REM ==CALCULO DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LA TUBERIA==
510 A2=(D2(K,J)/24)^2*3.14159
520 A1=(D1(K,J)/24)^2*3.14159
530 REM ==CALCULO DE LA PERDIDA POR FRICCION==
540 F=.2083*(100*G/C(K))^1.852*(L/100)/D1(J,K)^5
550 P=F/2.31
560 REM ==CALCULO DE LA VELOCIDAD DEL AGUA==
570 V=G/(60*7.48*A1)
580 REM ==CALCULO DEL PESO DEL AGUA==
590 W1=A1*L*62.3
600 REM ==CALCULO DEL PESO DE LA TUBERIA==
610 W2=(A2-A1)*L*W(K)

```

```

620 REM ==CALCULO DE LOS GALONES DE AGUA EN LA TUBERIA==
630 G2=W1/8.329
640 REM ==CALCULO DEL PESO DEL AGUA, & TUBERIA==
650 W3=W2+W1
660 REM ==INFRESION DE RESULTADOS==
670 PRINT "TAMANO NOMINAL DE LA TUBERIA - PULGADAS = ";N1(J)
680 PRINT "DIAMETRO EXTERIOR - PULGADAS = ";
D2(K, J)
690 PRINT "DIAMETRO INTERIOR - PULGADAS = ";
D1(K, J)
700 PRINT
710 PRINT "PERDIDAS POR FRICCION - PIES DE AGUA = ";F
720 PRINT "PERDIDAS POR FRICCION - M/SQ PULGADA = ";P
730 PRINT
740 PRINT "VELOCIDAD DEL AGUA (PIES/SEG) = ";V
750 PRINT "GALONES DE AGUA EN LA TUBERIA = ";G2
760 PRINT "PESO DEL AGUA (LIBRAS) = ";W1
770 PRINT "PESO DE LA TUBERIA (LIBRAS) = ";W2
780 PRINT "PESO DEL AGUA Y LA TUBERIA = ";W3
790 PRINT
800 PRINT "CORRER EL PROGRAMA CON NUEVOS DATOS S/N = ";
810 INPUT Z#
820 IF Z#="S" THEN 260
830 IF Z#<>"N" THEN 790
840 GOTO 1430
1000 REM ==DATOS DE TUBERIA NOMINAL==
1010 DATA .5, .75, 1, 1.25, 1.5, 2
1020 DATA 2.5, 3, 4, 5, 6, 8
1030 REM ==DATOS DE TUBERIA DE COBRE TIPO L==
1040 DATA 147, 558, 7
1050 DATA 0.625, 0.545, 0.875, 0.785
1060 DATA 1.125, 1.025, 2.125, 1.985
1070 DATA 1.625, 1.505, 2.125, 1.985
1080 DATA 2.625, 2.465, 3.125, 2.945
1090 DATA 4.125, 3.905, 5.125, 4.875
1100 DATA 6.125, 5.845, 8.125, 7.725
1110 REM ==DATOS DE TUBERIA DE ACERO CED 40==
1120 DATA 135, 488, 8
1130 DATA 0.840, 0.622, 1.050, 0.824
1140 DATA 1.315, 1.049, 1.660, 1.380
1150 DATA 1.900, 1.610, 2.375, 2.067
1160 DATA 2.625, 2.465, 3.125, 2.945
1170 DATA 4.500, 4.026, 5.563, 5.047
1180 DATA 6.625, 6.065, 8.625, 7.981
1190 REM ==DATOS PVC CED-40==
1200 DATA 150, 86.6
1210 DATA 0.840, 0.622, 1.050, 0.824
1220 DATA 1.315, 1.049, 1.660, 1.380
1230 DATA 1.900, 1.610, 2.375, 2.067
1240 DATA 2.875, 2.469, 3.500, 3.068
1250 DATA 4.500, 4.026, 5.563, 5.047
1260 DATA 6.625, 6.065, 8.625, 7.981
1270 REM ==DATOS PVC CED-80==
1280 DATA 150, 86.6

```

129 DATA 0.340,0.546,1.058,0.742
130 DATA 1.315,0.357,1.568,1.278
1310 DATA 1.900,1.500,2.383,1.939
1320 DATA 2.375,2.323,3.500,2.900
1330 DATA 4.500,3.526,5.563,5.312
1340 DATA 6.625,5.761,8.625,7.625
1350 REM ==COBRE TIPO K==
1360 DATA 147,553,7
1370 DATA 0.625,0.517,0.375,0.745
1380 DATA 1.125,0.995,1.375,1.245
1390 DATA 1.625,1.491,2.125,1.959
1400 DATA 2.625,2.435,3.125,2.907
1410 DATA 4.125,3.975,5.125,4.805
1420 DATA 6.225,5.741,8.125,7.583
1430 END

```

0 HOME
5 PRINT"ENVOLVENTES DE LOS MOMENTOS DE FLEXION Y DE LAS
FUERZAS DE CORTE"
10 DIM X(25), Y(25), M(25,2)
20 DIM S(25), B(25)
25 REM ==ENTRADA DE DATOS GENERALES E INICIO==
30 GOSUB 30
35 REM ==DEFINICION DE PUNTOS DE SALIDA==
40 GOSUB 430
45 REM ==COMPUTO DE ENVOLVENTE==
50 GOSUB 690
55 REM ==SALIDA DE RESULTADOS==
60 GOSUB 1350
70 GOTO 2200
80 PRINT
140 PRINT
150 PRINT
170 PRINT"***ESPECIFICACION DEL PROBLEMA**"
180 PRINT
190 INPUT"LONGITUD DE LA VIGA = ";L
200 PRINT
210 INPUT"NUMERO DE CARGAS = ";N
220 PRINT
230 PRINT"***DEFINICION DE SALIDA**"
240 PRINT
250 INPUT"NUMERO DE SUBINTERVALOS = ";K1
260 PRINT
270 PRINT"NUMERO ADICIONAL"
280 PRINT
290 INPUT"PUNTOS DE SALIDA = ";K2
300 PRINT
310 T=K1+K2+1
330 FOR I=1 TO T
340   D=0
350   FOR J=1 TO 2
360     M(I,J)=0
370     V(I,J)=0
380   NEXT J
390 NEXT I
400 RETURN
430 D=L/(K1)
440 K3=I+1
450 FOR I=1 TO K3
460   K(I)=(I-1)*D
470 NEXT I
480 K4=K3-1
490 IF K3=0 THEN 670
500 PRINT"INTRODUCE POSICION DE PUNTOS ADICIONAL"
510 FOR I=K4 TO T
520   II=I-K3
530   PRINT
540   PRINT"PUNTO NO. ";II
550   INPUT"X= ";X(II)
560 NEXT I

```

```

570 T1=T-1
580 FOR I=1 TO T1
590 I1=I+1
600 FOR J=I1 TO T
610 IF X(J)>=X(I) THEN 650
620 Y=X(I)
630 X(I)=X(J)
640 X(J)=Y
650 NEXT J
660 NEXT I
670 RETURN
690 PRINT
700 PRINT" **ESPECIFICACION DE CARGAS**"
710 PRINT
720 K=0
730 K=K+1
740 IF K=N THEN 1180
750 PRINT
770 FOR I=1 TO T
780 S(I)=0
790 B(I)=0
800 NEXT I
810 PRINT"> CARGA ";K
820 PRINT
830 INPUT"MULTIPLICADOR = ";Z
840 PRINT
850 PRINT" MOMENTOS FINALES"
860 PRINT
870 INPUT"MA = ";MO
880 INPUT"ME = ";M1
900 GOSUB 1200
910 PRINT
920 PRINT" CARGA DISTRIBUIDA"
930 PRINT
940 INPUT"WA = ";WO
950 INPUT"WB = ";W1
970 GOSUB 1310
980 PRINT
990 INPUT"NUMERO DE PUNTOS DE CARGA = ";N3
1000 IF N3=0 THEN 1150
1010 J=0
1020 J=J+1
1030 IF J>N3 THEN 1150
1040 PRINT
1050 PRINT" CARGA ";J
1060 PRINT
1070 INPUT" MAGNITUD = ";P
1080 INPUT" DISTANCIA = ";A1
1100 GOSUB 1460
1120 GOTO 1020
1150 GOSUB 1660
1170 GOTO 730
1180 RETURN
1200 VO=(MO+M1) * L

```

```

1210 I=0
1220 I=I+1
1230 IF I>T THEN 1290
1240 S1=-V0
1250 B1=M0+S1*X(I)
1260 S(I)=S(I)+S1
1270 B(I)=B(I)+B1
1280 GOTO 1220
1290 RETURN
1310 V0=(W0/3+W1/6)*L
1320 A1=(W1-W0)/L
1330 I=0
1340 I=I+1
1350 IF I>T THEN 1440
1360 X1=X(I)
1370 X2=X1*X1
1380 X3=X2*X1
1390 S2=V0-W0*X1-A1*X2/2
1400 B2=V0*X1-W0*X2/2-A1*X3/6
1410 S(I)=S(I)+S2
1420 B(I)=B(I)+B2
1430 GOTO 1340
1440 RETURN
1460 C=L-A1
1470 V0=P*C/L
1480 V1=P*A1/L
1490 I=0
1500 I=I+1
1510 IF I>T THEN 1640
1520 X1=X(I)
1530 IF X1>=A1 THEN 1590
1540 S3=V0
1550 B3=(V0*X1)
1560 S(I)=S(I)+S3
1570 B(I)=B(I)+B3
1580 GOTO 1500
1590 S3=-V1
1600 B3=V1*(L-X1)
1610 S(I)=S(I)+S3
1620 B(I)=B(I)+B3
1630 GOTO 1500
1640 RETURN
1660 FOR I=1 TO T
1680 S1=S(I)*Z
1690 B1=B(I)*Z
1710 IF S1<=V(I,1) THEN 1740
1720 V(I,1)=S1
1740 IF S1>=V(I,2) THEN 1770
1750 V(I,2)=S1
1770 IF B1<=M(I,1) THEN 1800
1780 M(I,1)=B1
1800 IF B1>=M(I,2) THEN 1820
1810 M(I,2)=B1
1820 NEXT I

```

```
1840 RETURN
1850 PRINT
1860 PRINT"MOMENTO FLEXIONANTE"
1870 PRINT"*****"
1880 PRINT
1890 FOR I=1 TO T
1900 PRINT
1910 PRINT"PUNTO ";I;SPC(2);"EN X = ";X(I)
1920 PRINT
1930 PRINT"MAX M = ";M(I,1)
1940 PRINT"MIN M = ";M(I,2)
1950 NEXT I
1960 PRINT
1970 PRINT'DESEAS CONTINUAR (S/N) ';
1980 INPUT C#
1990 IF C#="N" THEN 2120
2000 PRINT
2010 PRINT
2020 PRINT'ESFUERZO CORTANTE'
2030 PRINT"*****"
2040 PRINT
2050 FOR I=1 TO T
2060 PRINT
2070 PRINT"PUNTO ";I;SPC(2);"EN X = ";X(I)
2080 PRINT
2090 PRINT"MAX V = ";V(I,1)
2100 PRINT"MIN V = ";V(I,2)
2110 NEXT I
2120 RETURN
2200 END
```

CONCLUSION

A través del desarrollo de este trabajo se ha ido mostrando la forma en la que se debe calcular cada parte de una planta de recubrimientos electroquímicos para lo cual utilizamos los datos de un problema real. No obstante, los principios de diseño y los criterios generales podrían ser usados al desarrollar la ingeniería de otro proyecto de una planta de galvanostécnia.

Como se pudo ver a lo largo del trabajo, se utilizaron los mismos postulados que para cualquier otra área de la química, sin embargo habría sido imposible llegar a este diseño óptimo sin conocer determinadas particularidades de estos procesos electroquímicos que incluso podrían formar una especialización dentro de la Ingeniería Química.

En algunos países como en Estados Unidos, se habla de esta rama como Ingeniería Electroquímica, sin embargo, no podríamos hablar del desengrase o del electrodeposito como unas nuevas operaciones unitarias, lo cual, desde mi punto de vista, debilitaría el concepto universal de las operaciones unitarias y en si misma de la Ingeniería Química.

En otro orden de ideas, pudimos ver como es relativamente sencillo diseñar y construir una planta para estos procesos moderna, eficiente y con una alta confiabilidad de calidad que permitiría colocarse en un nivel muy competitivo con respecto a cualquier instalación del extranjero.

Pienso que si queremos, como país soberano, salir de la crisis económica que nos agobia, deberemos hacerlo buscando un alto grado de automatización en nuestra industria que nos

permita tener costos competitivos, e implementando planes adecuados de calidad en nuestros productos.

Qujalá y las personas decididas a iniciar o a mejorar sus instalaciones dentro del Area de la galvanostécnia consideren estos principios antes de comenzar un trabajo de diseño o adaptación.

BIBLIOSRAFIA.

1. Kenneth Graham, "Electroplating Engineering Handbook", Metal and Plastics Publications, Inc, 1984.
2. J. B. Mohler, "Electroplating and Related Processes", Metal and Plastics Publications, Inc, 1984.
3. "Metal Finishing Guidebook", Metal and Plastics Publications, Inc, 1987.
4. Perry y Chilton, "Manual del Ingeniero Químico", Mc Graw Hill, 1980.
5. J. J. Doffy, "Electroplating Technology - Recent Developments", Metal and Plastics Publications, Inc, 1977.
6. H. F. Ross y M. N. Barrow, "Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso", C.I.C.S.A., 1981.
7. Frederick A. Lowenthal, "Modern Electroplating", Metal and Plastics Publications, Inc, 1985.
8. Peter W. Wild, "Modern Analysis for Electroplating", Metal and Plastics Publications, Inc, 1983.
9. W. Elum, A. C. Buchanan, P. Meyer, "Material Properties and Methods of Electroplating", Modern Electroplating, The

Electrochemical Society, 1987.

10. Samuel Spring, "Industrial Cleaning", Metals and Plastics Publications Inc, 1983.

11. G. J. Sudzri, "Surface Finishing Systems", Metals and Plastics Publication Inc, 1984.

12. J. A. Murphy, "Surface Preparation and Finishes for Metals", Metals and Plastics Publication Inc, 1982.

13. Fitzgerald, Higginbotham, Grasel, "Fundamentos de Ingenieria Electrica", Mc Graw Hill, 1976.

14. F. Kreutz, "El Secado", Urno, S.A. Ediciones, 1975.

15. Brown, "Operaciones basicas de la Ingenieria Quimica", Ed. Marin, 1955.

16. John Heilborn, "Programas para Ciencia e Ingenieria", Mc Graw Hill, 1982.

17. Joseph and Arthur Kusner, "Water and Waste Control for the Plating Shop", Gerdner Publications, Inc, 1976.

18. William Biss y George Hogeborn. "Salvantechnia y Galvanoscopia", I.E.C.S.A., 1985.

19. Robert Treybal, "Operaciones de Transferencia de Masa", Mc Graw Hill, 1980.

20. John M. West. "Corrosión y Oxidación". Ed. Limusa, 1986.

21. Gordon M. Barrow, "Química Física", Ed. Reverté, 1975.

Manuales Técnicos.

Tanks Manufacturing - Hanson - Van Winkle - Munning Co.

Plating in Horizontal Barrels - Technical Bulletin - Napco Inc.

Marshaw Plating Products - Marshaw / Filtrol Partnership.

Immersion Heaters and Controls - Process Technology Inc.

Solid State Temperature Controls - United Electric Controls Company.

Platecoil Manual - Tranter Inc.

Pick of fluids - Crane Co.

Products and Systems for Handling Air and Gas - The Spencer
Turbine Company.

Exhaust Systems - Napco, Inc.

Revistas.

"Blowers for Low - Pressure Air Supply" Steve Miller and Rick
Cerecke, Metal Finishing - Septiembre 1985.

"Air agitate in plating, cleaning and rinsing" Gordon Taylor,
Industrial Finishing - Junio 1984.

"Understanding Rectifier Controls" Peter Cambria, Metal
Finishing - Junio 1985.

"Electricity on Steel" Tom Richards, Metal Fabrication - Julio
1983.

"Flexible Drop - in Liners" H. A. Forstacher, Metal Finishing
- Junio 1986.