

**PROPUESTA DE DISEÑO PARA UN SISTEMA DE AGITACIÓN MECÁNICA EN EL
CENTRO DE ANTICORROSIVOS Y TENSOACTIVOS DE LA UNIVERSIDAD DE
MATANZAS**

**Ing. Oscar Fernández Fernández¹, Ing. Indira González Sanchez¹, Msc. Bárbaro
Peña Rodríguez¹, Ing. Juan E. Rodríguez Beltrán¹**

*1. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía
Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*

Resumen

La presente investigación propone el diseño de un conjunto de agitación, para la disolución de fosfatado, en la Planta Piloto del Centro de Anticorrosivos y Tensoactivos, de la Universidad de Matanzas. Esto daría solución a la necesidad de sustitución del sistema manual que se emplea actualmente en esta operación del proceso de fabricación de los productos. En la investigación, se analizan, además, los sistemas de agitación utilizados con mayor frecuencia, las sustancias que intervienen en la mezcla, así como las variables de las que depende el diseño del mecanismo propuesto, para que sea capaz de lograr el objetivo de mezclado. Este accionamiento, incluye una transmisión por correa, y algunos componentes de acero inoxidable, ya que el producto a agitar posee un pH ácido, el cual es agresivo. Además, se efectúan los cálculos asociados a las partes del conjunto de agitación y de los parámetros de su funcionamiento.

Palabras claves: Diseño, Agitación, Mecanismo, Accionamiento

Introducción

El desarrollo económico e industrial que ha alcanzado hoy la humanidad no puede prescindir de la industria química y otras. La extracción y procesamiento de las materias primas, tanto naturales como sintéticas, y de su transformación en otras que son útiles al hombre, forma parte del universo habitual de la modernidad y el desarrollo. De aquí se deriva la necesidad de mejorar la eficacia y eficiencia de los procesos operacionales de las plantas pertenecientes a esta industria con la introducción de la mecanización y la automatización.

El proceso de agitación es uno de los más importantes dentro de la industria química, ya que el éxito de muchas operaciones industriales depende de una agitación y mezcla eficaz. En la Planta Piloto del Centro de Anticorrosivos y Tensioactivos (CEAT), de la Universidad de Matanzas, se producen tres productos anticorrosivos pertenecientes a la línea de investigación de disolución de fosfatado decapante: la DISTIN-502, la DISTIN-504 y la DISTIN-506. Estos productos proporcionan limpieza a fondo de las superficies metálicas, penetran en los intersticios, convierten el óxido y forman una capa de sales insolubles resistentes a deformaciones y a la acción agresiva de la atmósfera.

Actualmente, en el país, la producción de los tipos de anticorrosivos enunciados, sólo se ejecuta en la planta referida, sin embargo el proceso productivo de la misma presenta insuficiencias, pues el nivel de mecanización y automatización es bajo, ya que, entre otras, las operaciones de adición de sustancias a mezclar y de agitación de la mezcla, se realizan de forma manual, lo que genera la necesidad de diseñar formas y dispositivos mecánicos para mejorar el proceso, fundamentalmente es prioritario mecanizar la operación de agitar, puesto que esta se lleva a cabo actualmente con un implemento de madera manipulado por el operario, lo cual dificulta el proceso productivo de la Planta Piloto.

Desarrollo

En la planta objeto se producen disoluciones de fosfatado las cuales se emplean en las operaciones de preparación de superficies metálicas, previo a la aplicación de recubrimientos, con ellas se consigue la eliminación a fondo de los productos de corrosión sobre las superficies metálicas sin necesidad de empleo de productos químicos de importación o de métodos a chorro, todos ellos de alto costo.

Actualmente se elaboran tres productos anticorrosivos pertenecientes a la línea de investigación de disolución de fosfatado decapante: la DISTIN-502, la DISTIN-504 y la DISTIN-506, que proporcionan limpieza a fondo de las superficies, penetra en los intersticios, convierte el óxido y forma una capa de sales insolubles resistentes a deformaciones y a la acción agresiva de la atmósfera

El mecanismo de agitación, que se propone, no va a influenciar negativamente en el medio ambiente, pues sus componentes no proporcionan contaminación. El sistema de transmisión es por correa, un mecanismo que no produce ruidos que puedan afectar al hombre, el motor es eléctrico, los árboles son de acero inoxidable y las vigas son de acero.

Este accionamiento mecánico estará compuesto por un motor que le proporciona movimiento a una transmisión por correa trapezoidal, que a su vez mueve el árbol que sostiene la paleta del agitador. (fig. 1)

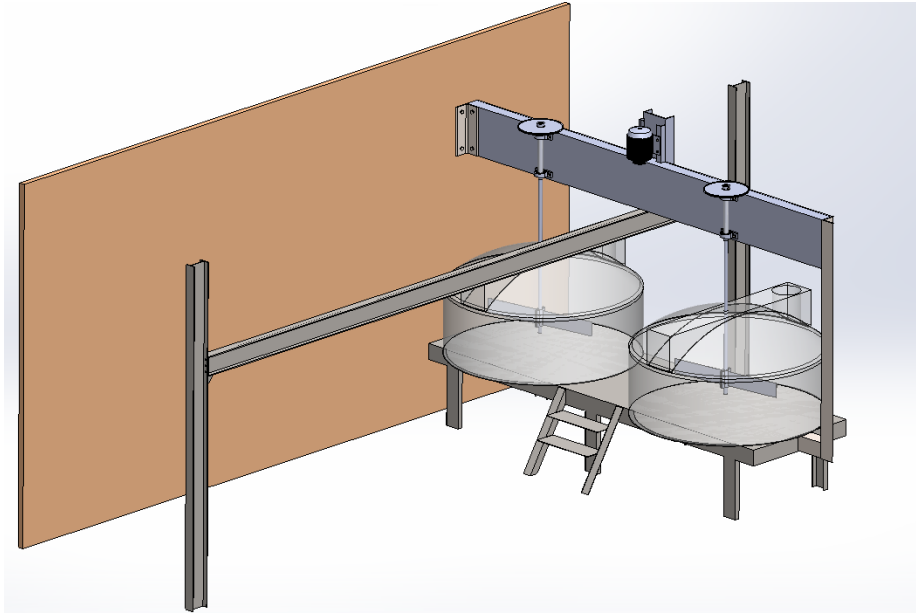


Figura 1: Mecanismo de agitación propuesto

Descripción de proceso de producción actual.

El operador adiciona el 70% del volumen de agua calculada a los tanques, efectuando a continuación una inspección visual alrededor de los mismos, para comprobar que no existan averías, salideros u otro derrame por el cuerpo de los tanques y de los accesorios. Posterior a esto se comienza a añadir el H_3PO_4 , al 85 %, al tanque de operación. El ácido se le adiciona manualmente a través del registro o tapa superior de los tanques donde se fabrica la disolución. Luego, al terminar de añadirse el H_3PO_4 , se le agrega de la misma forma el Óxido de Zinc, se agita la mezcla manualmente durante varios minutos con un implemento de madera y seguidamente se le da un tiempo de reacción de no menos de 24 horas con el fin de que la reacción sea completa.

La espera prolongada para el completamiento de la reacción se debe a que no poseen agitadores mecánicos y es necesario el transcurso de este tiempo ya que el ácido se encuentra diluido en el 70 % del volumen del agua para disminuir la agresividad de la reacción exotérmica entre el ácido fosfórico y el Zinc.

Sistema de transmisión mecánica del agitador

Para diseñar un mecanismo de agitación, se deben tener en cuenta varios parámetros vinculados al proceso de producción de la mezcla, las condiciones de trabajo en que va a operar el mismo, las variantes más económicas y objetivas para el cliente receptor del diseño, pero además, la influencia de dicho mecanismo para el medio ambiente.

Selección del motor

Para la selección del motor se tiene en cuenta, la forma constructiva, potencia en kW, velocidades en rev/min, factor de servicios, datos de la transmisión, costo inicial, capacidad de la red, necesidad de corrección del factor de potencia, par requerido, efecto de inercia de la carga, necesidad o no de regulación de la velocidad y la exposición de la máquina a ambientes húmedos, polvados o agresivos.

Selección del agitador

Debido al tiempo de espera, en correspondencia a la temperatura que alcanza la mezcla, se desea que la frecuencia de rotación sea de 60 rev/min, ya que se logra un mezclado eficiente, por lo que se seleccionó un agitador de paletas, el cual resuelve problemas sencillos de agitación, es eficaz y está formado por paletas planas sobre un eje vertical las que giran a velocidades bajas o moderadas produciendo una agitación suave en el centro del tanque, impulsando al líquido, radial y tangencialmente, sin que exista un movimiento vertical respecto al agitador, a menos que estén inclinadas, lo cual no es el caso. Las corrientes que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo.

Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rev/ min. Por tanto, el agitador seleccionado cumple con lo demandado.

Cálculo de las dimensiones geométricas del agitador

Para el diseño del agitador se utilizan semejanzas geométricas estandarizadas que relacionan las medidas generales del tanque con el tipo de agitador.

Existen un gran número de variables para el diseño de un agitador, entre ellas: propiedades del fluido, objetivos de la agitación, diámetro y altura del tanque (d_t) y de las palas (d_{ag}), distancia entre el fondo del tanque y las palas, tal como se observa en la figura 1.1:

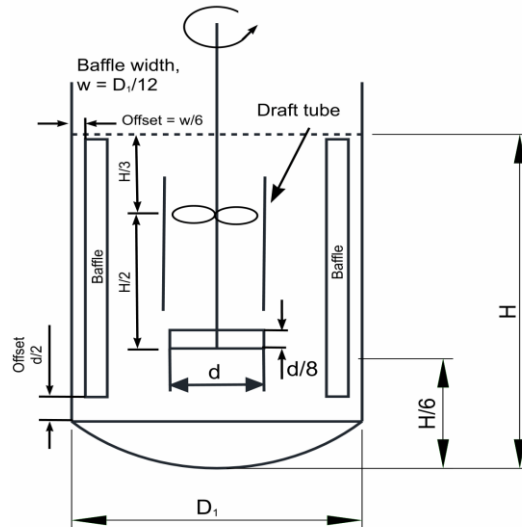


Figura 1. Tanque de agitación con dimensiones típicas (Quispe, 2014).

Se pueden encontrar gran variedad de opiniones. En principio se puede ubicar el agitador a $H/6$ del fondo del tanque. Para caso de suspensión de sólido, se recomienda $d/3$ del fondo.

La longitud del rodete de un agitador de paletas es del orden de 50 al 80% del diámetro interior del tanque.

La altura de las palas es de un sexto a un décimo de su longitud.

El espesor de la paleta, estará dado por la siguiente expresión:

$$S \geq \sqrt{\frac{3M_t(FS)}{H\sigma_f}}$$

donde:

M_t : momento torsor de la paleta

FS: factor de seguridad

H: altura de la paleta

σ_f : límite de fluencia del material

Diseño del conjunto de agitación.

En el diseño se debe considerar la función que va a realizar el agitador. La cual consiste en obtener una mezcla homogénea y mecanizar el proceso de agitación de la disolución de fosfatado.

Tabla 1. Datos para el diseño del agitador

Fluido a agitar	Solución de nitrato de sodio, ácido ortofosfórico, óxido de zinc y agua.
Densidad del fluido	1342 kg/m ³
Viscosidad del fluido	0,443 Pa*s
Presión de operación	1 bar
Temperatura de trabajo	24°C
Diámetro del tanque	1550 mm
Altura del tanque	875 mm
Fondo	plano
Altura de llenado	875 mm
Volumen de llenado	1500 litros
Espesor de la pared	4 mm
Peso	45890 kg
pH de la mezcla	0,85
n ₂	60 rev/min
Eficiencia del motor	0,75
Eficiencia de la transmisión por correa	0,95
Eficiencia de los rodamientos	0,95

Límite de fluencia a tracción del acero inoxidable 316 (σ_{ft})	290 MPa
Límite de rotura a tracción del acero inoxidable 316 (σ_{rt})	550 MPa
Límite de fluencia a tracción del acero inoxidable 301 (σ_{ft})	144 MPa
Límite de rotura a tracción del acero inoxidable 301 (σ_{rt})	510 MPa

Nota: Los valores de los límites de los aceros inoxidables fueron tomados de (MatWeb, 2015)

Tabla 2. Resultados del cálculo cinemático

Razón de transmisión ($u_{1,2}$)	4
Frecuencia de rotación de los árboles	Árbol I- 240 rev/min
	Árbol II- 60 rev/min
Velocidades angulares (ω_1, ω_2)	25,13 rad/s
	6,28 rad/s
Eficiencia del mecanismo	0,7
$N_{inst\ mot}$	0,044 kW
M_{t1}	0.875 Nm
M_{t2}	2,452 Nm

El valor del Reynolds arroja un régimen transitorio. A través de la experimentación y las características geométricas del tanque, el cual no posee tabiques, ni se le puede colocar debido a que es de plástico, se utilizó la ecuación del régimen laminar, donde se obtuvo el resultado de la potencia de instalación del motor con un agitador de paletas. El motor propuesto es de corriente alterna, trifásico, con rotor jaula de ardilla, ya que es el más empleado en cualquier aplicación industrial debido a su construcción robusta y simple, además es la solución más económica tanto en términos de motores como de comando y protección.

Tabla 3 Dimensiones de la paleta

H	169 mm
dag	928 mm
B	116 mm
S	4 mm

El diámetro de las paletas se obtuvo con el 60% del diámetro interior del tanque, la altura con 1/8 del diámetro del agitador. El espesor mínimo se obtuvo de la ecuación 3.1. Posteriormente, se realizó un análisis estático con este valor, para lograr que la deflexión sea asequible al diseño y se cumpla el objetivo de mezclar.

Transmisión por correas

Tabla 4. Parámetros de la correa

<i>Parámetros</i>	<i>Correa C_{c1}</i>	<i>Correa C_{c2}</i>
Potencia de diseño (kW)	0.044	0.044
Diámetro de la polea menor (mm)	80	80
Diámetro de la polea mayor (mm)	320	320
Velocidad periférica (m/s)	1.005	1.005
Longitud de la correa (mm)	2622.55	2354.84
Longitud normalizada (mm)	2650	2360
Distancia entre centros de montaje real (mm)	990	855
Ángulo de abrazo (°)	166.3	160.33
Ciclos a flexión (flex/s)	0.985	0.952
Número de correas	1	1
Tensado inicial (N)	35.49	35.49
Fuerza sobre los árboles de las poleas (N)	61.25	61.25
Duración (h)	7091077	7091077

Los parámetros de diseño de la correa se observan en la tabla 4, donde la medida de la distancia entre centros, se define a partir de las condiciones de trabajo existentes en la

planta. El resto de los parámetros fueron diseñados según metodología de cálculo para las correas trapeciales.

Diseño de los árboles de la transmisión.

El diseño de los árboles, tiene en cuenta las cargas, dimensiones y sistema de agitación. Ambos árboles poseen iguales parámetros, exceptuando las dimensiones, por lo que se realizó un solo análisis al árbol de mayor dimensión.

Para determinar los diámetros previos de los árboles, se utilizó el Código ASME.

Tabla 5. Valores obtenidos a partir del cálculo para determinar los diámetros de los árboles.

<i>Parámetros</i>	<i>Código ASME</i>
$[\tau]$	73,95 MPa
$M_{eq}; M_{te}$	40058,41 Nmm
d	17,56 mm

El diámetro previo calculado alcanza valores diferentes en correspondencia a los parámetros de cálculo, por lo que se define $d_{min} = 30\text{mm}$.

Cálculo de la chaveta prismática

El cálculo de la longitud de la chaveta se realiza a a partir de la selección de una chaveta prismática, con un tornillo para la fijación, que permite que el elemento no se desplace axialmente (tabla 4.6).

Tabla 6. Resultados obtenidos del cálculo de la chaveta prismática.

Parámetro	Criterio de resistencia al cortante	Criterio de resistencia al aplastamiento
$[\tau_{ciz}]; [\sigma_{apl}]$	145,69 MPa	203,98 MPa
lc	0,015 mm	0,025 mm
$n_{ciz}; n_{apl}$	3,5	2,5
d	30 mm	
b	8 mm	
h	7 mm	
t_l	4 mm	
Material de la chaveta	Acero inoxidable 301	
Normalizar la longitud	20 mm	
Designación de la chaveta	8 x 7 x 20	
Tolerancias		
Altura	Ancho	Radio de redondeo
$7h11 \begin{pmatrix} 0 \\ -0.090 \end{pmatrix}$	$8h9 \begin{pmatrix} -0.015 \\ -0.036 \end{pmatrix}$	4 mm

Unión por pernos

Para la fijación de los rodetes a la paleta se necesitan 4 pernos para cada uno, con sus respectivas tuercas. Para la sujeción de los pedestales a la viga se necesitan 2 tornillos para cada uno con las turcas.

Para la fijación de las poleas a los árboles, se utilizara 1 perno para cada árbol. La longitud de los mismos estará en dependencia al diseño.

Los resultados de los cálculos obtenidos se reflejan en la tabla 4.7.

Tabla 7. Parámetros obtenidos del cálculo de los pernos.

$[\tau_c]$	152,98 MPa
P_o	1,691 N
d_{tor}	0,1186 mm
<i>Normalizar dimensiones del perno del rodete de las paletas y de la polea conducida</i>	
d_e	10 mm
d_m	9,35 mm
d_f	8,92 mm
p	1
k	6 mm
s	16 mm
H	8
$l_{r,p}$	23 mm
l_{pc}	13,5 mm
<i>Normalizar dimensiones del perno de la polea conductora</i>	
d_e	6 mm
d_m	5,35 mm
d_i	4,92 mm
p	1
k	9,6 mm
s	16 mm
H	4,8
l	17 mm

Además, para la fijación del motor y de las vigas se utilizarán tornillos de cabeza hexagonales con rosca métrica (M16), de iguales dimensiones a los que están colocados en la estructura ya existente en el local. Para sujeción de los cojinetes se colocarán tornillos según los que utilizan los pedestales seleccionados.

Análisis de frecuencia

Para que el árbol no se vuelva dinámicamente inestable se realizó el análisis de velocidad crítica del mismo con el software SOLIDWORK. En el que se concluye que los árboles, no deben trabajar a frecuencias mayores de 200 a 300 rev/min, pues estos valores son velocidades críticas a las que el elemento no debe llegar para no entrar en resonancia. Siendo considerada una zona libre de resonancia.

Vigas

Para la estructura exterior que soportará la transmisión se seleccionó una viga canal para el apoyo de los rodamientos, las cuales se colocarán de forma horizontal, además vigas de perfil L para fijar las vigas canales a los bordes de la mesa en la que están montados los tanques.

Selección de los electrodos

La soldadura de la paleta al rodete se hará por medio de soldadura, con un electrodo ER316L-17, el cual puede soldar aceros inoxidables AISI 316, 316L, 318 y donde el equipo esté expuesto a altos niveles de corrosión. Este electrodo contiene molibdeno, dándole más resistencia a las picaduras por corrosión en presencia de ácidos sulfurosos en diferentes concentraciones.

Análisis del costo

Tabla 8. Costo aproximado del mecanismo de transmisión diseñado.

<i>Producto</i>	<i>cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Importe</i>
Motor (libre, 2017)	1	63,59€	63,59€
Polea conductora doble ranurada(Dinámica, 2011)	1	10,88 €	10,88 €
Polea conducida	2	49,51 €	99,02 €
Correas(Goodyear, 2014)	2	26,23 €	52,46 €
Rodamientos(SKF, 2016)	4	14,42 €	57,68 €
Barra de acero inoxidable 316.	1	18,55 €	18,55 €
Plancha de acero inoxidable 316 (materials4me, 2017)	1	37,00 €	37,00 €
Electrodo de acero inoxidable (ARC-ZONE, 2017)	1 caja	15,00 €	15,00 €
Viga perfil C	1	309.88 €	309.88 €
Vigas perfil L	1	106.11 €	106.11 €
Total		770,17 €	

Como se evidencia el costo de fabricación propuesto alcanza aproximadamente 770,17 euros lo que está por debajo de mecanismos similares en el mercado que cuestan 3553,68 euros.

Con el objetivo de representar el diseño completo se realizó el plano de ensamble. En el mismo se expone el mecanismo con los ajustes existentes y las dimensiones exteriores máximas.

CONCLUSIONES

Este trabajo ha permitido la caracterización del proceso productivo de disoluciones de fosfatado en la Planta Piloto del CEAT, de la Universidad de Matanzas, en el cual se evidencia el carácter manual, de baja productividad, calidad y seguridad que registra el mismo y por tanto la necesidad de mecanizar sus operaciones, sobre todo la agitación de la mezcla. Se logró la propuesta del diseño de un mecanismo de agitación para la operación de mezcla el cual debe contribuir a la mecanización de su proceso productivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARC-ZONE. 2017. *RE: ER316L - Stainless Steel TIG Welding Rod*.
- ASME 1985. Design of transmission shafting. New York.
- AVILÉS, R. 1995. *Fatiga de materiales en el diseño y análisis mecánico.*, España.
- CALLISTER, W. 2000. *Materials science and Engineering an introduction*.
- CAPCES. 2009. *Chavetas y lengüetas*. [Online]. Available: www.monografias.com.
- CORVO, F. 1989. *Primera Variante del Mapa de Agresividad Corrosiva de la Atmósfera de Cuba.*, Brasil.
- DEFINICION. 2014. Definición de rodamiento. Available from: definicion.de.
- DINÁMICA 2011. Poleas.
- DOBROVOLSKI, V. 1980. *Elementos de máquinas.*, Moscú.
- ECHEVERRÍA, C. 1991. *La corrosión atmosférica del acero y la protección temporal de los centrales azucareros en la provincia de Matanzas.*, Universidad de Matanzas.
- FERNÁNDEZ, O. 2012. *Propuestas metodológicas para el cálculo de transmisiones y uniones.*, Cuba.
- GONZÁLEZ , J., VALBUENA , H. & REYES , H. 2010. Rodamientos. *Monografias.com* [Online]. Available from: www.monografias.com.
- GONZÁLEZ, R. 1998. Valor racional de la tensión inicial de montaje en las correas trapeciales de transmisión de potencia. *Revista Cubana de Ingeniería*.
- GOODYEAR 2014. Correa trapecial. In: GOODYEAR (ed.).
- GRANGER, G. 1991. *Basic operations of the chemical engineering*.
- GULIÁEV, A. P. 1990. *Metalografía.*, Moscú, Mir.
- HAUKE, G. & BLASCO, J. 2010. *Experimentation with industrial agitation*. [Online]. Available: <http://www.unizar.es>.
- HAUKE, G. & BLASCO, J. 2014. *Theoretical experimental study of the agitation*. [Online]. España. Available: www.unizar.es.
- HELMUT, H. 2006. Economic situation of power transmission industry sector. *Report in the Annual Meeting of EUROTRANS*.
- ISO 1995a. Belt drives - Classical and narrow V - belts - Grooved pulleys (system based on datum Width). *Dimensions of the groove profiles*.
- ISO 1995b. Belt drives - Classical and narrow V - belts - Grooved pulleys (system based on datum Width). *Groove angles in relation to given datum diameters*.
- ISO 1995c. Belt drives - Classical and narrow V - belts - Grooved pulleys (system based on datum Width). *Series of datum diameters*.
- ISO 1998. Geometría de la rosca métrica.
- ISO 1999. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectoras. *Parte 2: Clasificación de ambientes*. España.
- LAUFGANG, S. 2003. Stainless steels.
- LIBRE, M. 2017. Precio de motores eléctricos trifásicos nuevos. In: LIBRE, M. (ed.). Argentina.
- MATERIALS4ME. 2017. *Acero Inoxidable Plancha*. [Online]. Available: www.materials4me.es.
- MATWEB. 2015. *316 Stainless Steel*. [Online]. Available: matweb.com.
- MECÁNICO, D. 2015. Diseño Mecánico - chavetas. *Diseño Mecánico* [Online]. Available from: disenhomecanico.blogspot.com.

