

DESARROLLO DE ESTRUCTURA METÁLICA SUSTENTABLE PARA CARGA.

José Alfredo Sánchez de León¹
Laura Cristina Flores Mexicano²
Oscar Cedillo Domínguez³
Gustavo González Flores⁴

RESUMEN.

En este presente artículo mostramos el reciclado del alambre con el que se fabrica un material (armadura de castillo) derivado del acero en la industria del trefilado, para sustituir a un producto que es muy utilizado hoy en día (tarima de madera) en distintas organizaciones productivas, asegurándonos que se cubran las mismas características necesarias para un movimiento específico de materiales. Esta situación es analizada debido a una gran utilización de (tarimas de madera) del cual se detectó la oportunidad de contrarrestar este consumo analizándolo, evaluándolo y presentando una opción de producto ya degradado en costo, pero transformándolo en otro de mayor beneficio. Los resultados obtenidos de este artículo ayudan a alcanzar el objetivo de la innovación y la disminución del consumo de tarimas de madera.

Palabras clave: Tarima de madera, tarima metálica, armadura de castillo

Fecha de recepción: 02 de marzo, 2018.

Fecha de aceptación: 23 de marzo, 2018.

¹ Gerente de aseguramiento de calidad planta Trefilados Villacero. jose.sanchez@villacero.com

² Jefa del departamento de programación y embarques planta Trefilados Villacero. laura.flores@villacero.com

³ Gerente de producción planta Trefilados Villacero. oscar.cedillo@villacero.com

⁴ Supervisor de control de pedidos planta Trefilados Villacero. pedidos.trefilados@villacero.com

INTRODUCCIÓN.

El uso de tarimas dentro de los procesos de embalaje ha sido estimulado por el comercio nacional e internacional debido a que la transportación de los productos se facilita con la utilización de las mismas que por lo regular son fabricadas a partir de madera, estas estructuras de transporte planas que aportan un manejo estable de diversos productos que pueden soportar pesos desde 1,000 kg permiten ser levantados por montacargas u otros medios así como son tan útiles para dichos propósitos también contribuyen al uso excesivo de madera la cual no siempre se reutiliza.

Por otro lado, el castillo armado o armex es un producto utilizado ampliamente hoy en día en la industria de la construcción [3], es fabricado en la industria del trefilado. Existen estándares nacionales [4], [7] que establecen los requisitos específicos para este material. Es producido en hojas las cuales se encuentran constituidas por piezas rectangulares individuales. Cuando el cliente final recibe el producto terminado, las piezas individuales son cortadas y dobladas para formar lo que se conoce como armadura de castillo.

Con la finalidad de tratar de disminuir el uso de tarimas de madera nos dimos a la tarea de buscar una alternativa utilizando recursos proporcionados por los mismos procesos de una planta trefiladora. El aprovechamiento de la chatarra del proceso de producción de armaduras de castillo resulta ser útil para formar a partir de tramos de armaduras de castillo doblado tarimas compuestas por acero las cuales pueden usarse para transportar cargas similares a las de madera; recordando que se utiliza la chatarra del proceso de fabricación de castillo estas tarimas cuando ya no son funcionales retornan a su proceso natural de chatarra, pero con la diferencia de haber sido aprovechadas como medio de transporte previamente.

El propósito de este trabajo es disminuir el impacto ambiental y costos de operación de una planta trefiladora, mediante la reducción del consumo de madera, a través de la sustitución de la tarima de madera por una estructura metálica de carga para efectuar movimientos internos de materiales.

JUSTIFICACIÓN.

En los últimos años se ha incrementado el consumo de tarimas por diferentes factores que perjudican directamente en el incremento de consumo de madera, es por eso que estamos interesados en el beneficio de este análisis.

Se plantea este proyecto como una solución que se deriva de la utilización de un subproducto (chatarra) de acero que proviene de una línea de producción denominado castillo armado-chatarra, que es creado de manera natural del proceso de fabricación, cuando las pruebas de calidad son llevadas a cabo para asegurar la calidad del mismo.

Al revisar las aplicaciones de la tarima de madera se constató que parte de su uso consiste en el movimiento de materiales internos como transporte/acomodo de subproductos, basura etc. en áreas específicas y por esta razón se decidió invertir en la transformación de castillo armado-chatarra en tarima de acero con mano de obra interna, la cual presenta una resistencia y capacidad de almacenamiento muy similar a su contraparte de madera.

Por otra parte, mediante el empleo de una estructura metálica es posible contar con mayor flexibilidad en el almacenamiento de materiales a la intemperie, ya que una tarima de madera tiende a degradarse prematuramente por el contacto con el agua.

Dado que no existe una norma universal para la fabricación de tarimas no se infringe ningún lineamiento por parte de la planta, ya que es difícil estandarizar algún objeto que presenta muchas variantes y las empresas poseen diferentes necesidades de transportación de productos [9].

METODOLOGÍA.

Se procederá en primer lugar a realizar una descripción matemática del objeto metálico aquí propuesto, introducido en las secciones anteriores; ya que sus características estarán basadas en términos de las propiedades y variables aquí descritas.

Descripción matemática del objeto

Sea el espacio euclidiano $\mathbb{R}^3 = \mathbb{R} \times \mathbb{R} \times \mathbb{R} = \{(x_1, x_2, x_3) : x_i \in \mathbb{F}, i \in \Lambda\}$, el campo $\mathbb{F} = \mathbb{R}$, y el conjunto indexado $\Lambda = \{1, 2, 3\}$. Se define \mathfrak{C} :

$$\mathfrak{C} := \left\{ \bigcup_{i \in \Lambda} x_i \subseteq \{\{0, x_1\} \times \{0, x_2\} \times \{0, x_3\}\} : x_i \in \mathbb{F} \right\}$$

como el conjunto de 3-tuplas contenido en el producto cartesiano de los elementos en \mathbb{F} .

Se introduce la métrica euclidiana:

$$d: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow [0, \infty)$$

$$(x, y) \mapsto |x - y|$$

para los elementos distintos de cero $\{\phi_1, \phi_2\} \in \mathfrak{C}$, definida por la función de distancia:

$$d(\phi_1, \phi_2) := \left(\sum_{k=1}^n |\phi_{k+1} - \phi_k|^2 \right)^{1/2}$$

El ángulo subtendido entre estos dos vectores se encuentra dado por el producto cruz [2]:

$$\|\phi_1 \times \phi_2\| = \|\phi_1\| \|\phi_2\| \sin \theta$$

Si se tiene que $\phi_1 \times \phi_2 = \vec{0}$, entonces estos vectores son paralelos. Si se procede a determinar los vectores paralelos para todo el conjunto \mathfrak{C} , y se consideran únicamente aquellos linealmente independientes, es decir

$$\sum_{i \in \Lambda} c_i (\phi_{i+1} - \phi_i) = 0$$

para cualquier $c_i \in \mathbb{F}$ y $\phi_i \in \mathfrak{C}$, de tal manera que no representan múltiplos de otros. Estos serían, representados en términos de sus escalares:

$$(1) \quad \bigcup_{j \in \Lambda} \left[\bigcup_{\substack{k \in \Lambda \\ x_j \neq 0}} x_k - \bigcup_{\substack{k \in \Lambda \\ x_j = 0}} x_k \right]_j \bigcup_{\substack{i \in \{1, 2\} \\ j \in \{2, 3\}}} \left[\bigcup_{\substack{k \in \Lambda \\ x_i \neq 0 \\ x_j \neq 0 \\ i < j}} x_k - \bigcup_{\substack{k \in \Lambda \\ x_i = 0 \\ x_j = 0 \\ i < j}} x_k \right]_{i, j}$$

para $\bigcup_{k \in \Lambda} x_k \in \mathfrak{C}$.

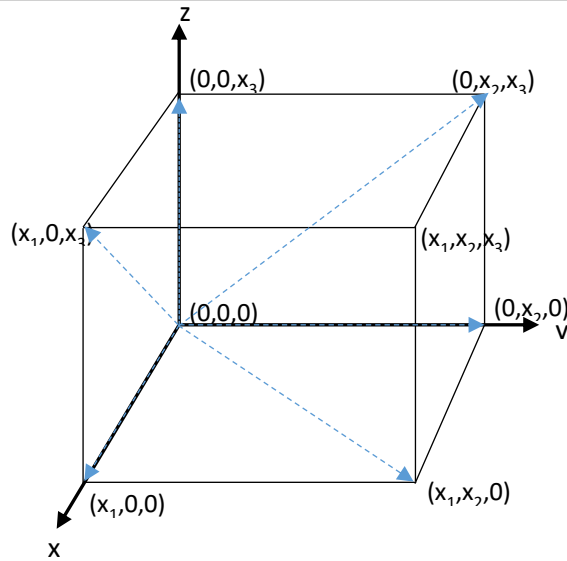


Figura 1. Representación del conjunto \mathfrak{C} y de los vectores $(\phi_{i+1} - \phi_i)$ linealmente independientes.

De acuerdo a [2] los vectores del segundo operador en (1) pueden ser expresados en términos de los vectores del primer operador, esto es:

$$\left[\bigcup_{\substack{k \in \Lambda \\ x_j \neq 0}} x_k - \bigcup_{\substack{k \in \Lambda \\ x_j = 0}} x_k \right] + \left[\bigcup_{\substack{k \in \Lambda \\ x_{j+1} \neq 0}} x_k - \bigcup_{\substack{k \in \Lambda \\ x_{j+1} = 0}} x_k \right] = \left[\bigcup_{\substack{k \in \Lambda \\ x_j \neq 0 \\ x_{j+1} \neq 0}} x_k - \bigcup_{\substack{k \in \Lambda \\ x_j = 0 \\ x_{j+1} = 0}} x_k \right]$$

Entonces la dimensión física del objeto podrá ser representada sin ambigüedad también en términos de estos últimos. La figura 1 muestra la representación de lo anterior. De este subconjunto, sea un elemento

$$\sigma_r \in \bigcup_{r \in \Lambda} \left\{ \bigcup_{\substack{k \in \Lambda \\ x_r \neq 0}} x_k, \bigcup_{\substack{k \in \Lambda \\ x_r = 0}} x_k \right\}_r \subseteq \mathfrak{C}$$

Para los escalares $\{\hat{L}_x, \hat{L}_y, \hat{L}_z\} \in \mathbb{F}$ si se asigna el valor obtenido por la función distancia, por convención, de la siguiente manera:

$$\hat{L}_x := \max_{r \in \Lambda} \{d(\sigma_r)\}_r$$

$$\hat{L}_y := \min_{r \in \Lambda} \{d(\sigma_r)\}_r$$

$$\hat{L}_z := \{d(\sigma_s): \sigma_s \notin \{\sigma_s: d(\sigma_r) = \hat{L}_x; d(\sigma_r) = \hat{L}_y\}\}$$

para $s \in \Lambda$, entonces se podrá contar con las dimensiones del objeto descrito representado por \mathfrak{C} en la figura 1. Se define la matriz de elementos idénticos de \mathfrak{C} :

$$\mathcal{M}_{m \times n}(\mathfrak{C}) := \left\{ A = (\sigma_{ij})_{\substack{1 \leq i \leq m \\ 1 \leq j \leq n}}: (\sigma_{ij}) = (\sigma_{i+1 \ j+1}); (\sigma_{ij}) \times (\sigma_{i+1 \ j+1}) = \vec{0} \right\}$$

Tal que su producto cruz es cero, de tal manera que sus elementos individuales sean paralelos entre sí.

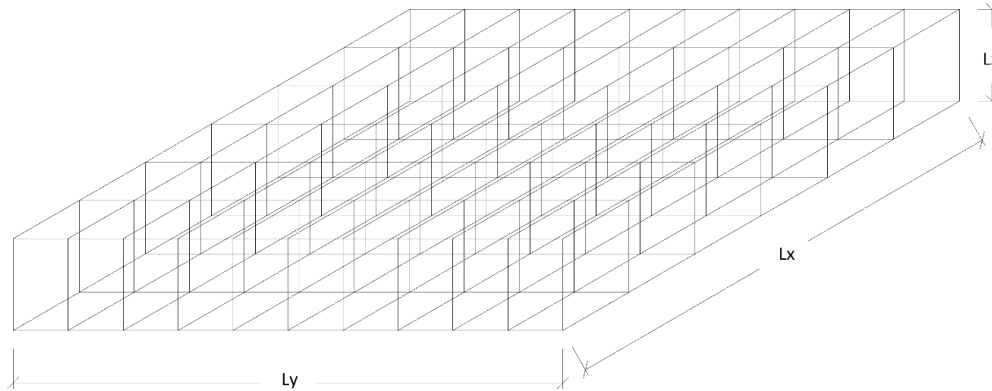


Figura 2. Representación de la matriz $\mathcal{M}_{m \times n}(\mathbb{C})$.

La figura 2 muestra la representación gráfica de esta. Como la matriz contiene exactamente $m \times n$ elementos iguales (m filas y n columnas), de acuerdo a la definición de la matriz y a las dimensiones determinadas anteriormente de sus elementos individuales, se tendría que el objeto representado por $\mathcal{M}_{m \times n}(\mathbb{C})$ en la figura 2 poseería una longitud de $L_x = (\hat{L}_x)(m)$ en cada fila (eje x), $L_y = (\hat{L}_y)(n)$ en cada columna (eje y), y $L_z = \hat{L}_z$ de altura (eje z) para cada elemento; esto es largo, ancho y altura de la estructura metálica de carga propuesta en este documento. En base a esta matriz y a sus elementos, será referenciado el desarrollo de la estructura de carga aquí propuesta.

Creación de la estructura

Las armaduras de castillo deben cumplir con un conjunto de requisitos establecidos en NMX-B-253 [4] y NMX-B-456 [7]; para garantizar que estos requisitos sean cumplidos, parte del seguimiento a las pruebas de calidad efectuadas a estos materiales consiste en la creación de una armadura completa de cada una de las piezas de una hoja de este material, a una determinada frecuencia, para asegurar su correcto formado.



Figura 3. Armaduras de castillo creadas durante las pruebas de calidad, matriz de 37x1 elementos ($\mathcal{M}_{37 \times 1}(\mathbb{C})$).

De manera general a las estructuras mostradas en la figura 3 se les aplica el siguiente sencillo proceso:

- 1.- Corte en segmentos individuales de menor longitud.
- 2.- Unión de cada uno de estos cortes individuales; para formar una nueva matriz metálica como aquella representada en la figura 2.
- 3.- Aseguramiento de cada uno de estos cortes individuales en la nueva estructura, para terminar en lo mostrado en la figura 4.

El aseguramiento descrito en el paso 3 se lleva a cabo realizando un amarre a cada corte individual con otro, de manera sucesiva; puede ser empleado para este cualquier tipo de alambre utilizado en la industria de la construcción por ejemplo alambre recocido o alambre galvanizado (véase [6] y [8] respectivamente). Entonces, es obtenida una nueva estructura como la mostrada en la figura 4; esta representa la estructura de carga propuesta.



Figura 4. Nueva estructura de carga creada a partir del proceso descrito arriba.

Como se puede apreciar, este proceso es demasiado simple, de tal manera que prácticamente puede ser llevado a cabo por personal sin experiencia previa (con el equipo debido de seguridad); es esta simplicidad en parte lo que hace factible su desarrollo.

Debido a que estas armaduras están diseñadas para soportar cargas puntuales, esta propiedad inherente es aprovechada para crear las estructuras de carga aquí propuestas. Para una descripción completa sobre las dimensiones, resistencia a la tensión, resistencia al corte de la soldadura del material básico aquí utilizado (armaduras de castillo mostradas en la figura 3), y demás características, por favor consultar [4] y [7].

Aplicaciones principales

Debido a que las necesidades de cada una de las distintas áreas productivas en la industria, son muy amplias, posiblemente es necesario construir este tipo de estructuras en una gran variedad de dimensiones; sin embargo, su aplicación más común podría estribar en el transporte con montacargas y almacenaje de subproductos, por ejemplo los generados en algunas industrias de

trefilado - galvanizado: tierra de zinc (óxido de zinc [1] generado durante el proceso), dross [1] (material también generado en el proceso que consta aproximadamente de 98% zinc, 2 % hierro y trazas de aluminio y silicio), otras: movimiento de piezas de segunda calidad, basura, etc.

Debido a su constitución de acero y a su resistencia a las distintas condiciones climatológicas, mediante su uso hace posible el almacenaje a la intemperie de cualquiera de los materiales mencionados, véase figura 7.



Figura 7. Conservación de materiales a la intemperie.

Pruebas de carga a cada elemento de la estructura

Las estructuras sustentables de carga aquí presentadas previo a su uso, fueron sometidas a una prueba de carga para determinar su capacidad y establecer un rango seguro de utilización. Debido a que no existe una norma para realizar pruebas de carga a este tipo de estructuras, fue desarrollada una metodología, la cual se describe a continuación:

- 1.- Se toma un elemento individual de la matriz mxn metálica (figura 4).
- 2.- El elemento se coloca dentro de una máquina universal de ensayos de tensión, con capacidad para realizar compresión. Ver figura 8.
- 3.- Se le aplica un diferencial de carga al elemento a prueba.
- 4.- Con la ayuda de un vernier se realiza la medición de los valores dimensionales L_z (altura) en cada extremo del elemento, de acuerdo al diferencial de carga aplicada. Se registra el promedio de los valores de cada extremo (véase tabla 1).
- 5.- Se continúa con los pasos 3 y 4 hasta notar una deformación importante en el elemento, es decir hasta llegar al punto en el que este no retorne a su forma original cuando la carga cede.
- 6.- En base a los datos obtenidos, se determina la carga a la cual el nuevo valor dimensional L_z del elemento a prueba es menor al anterior (véase tabla 1, figura 9 y 10), y se considera un valor de carga menor a este como la máxima capacidad.

Las pruebas se llevaron a cabo con un total de diez elementos de distintas matrices, aplicando incrementos de 20 kgf (diferencial de carga) hasta alcanzar un máximo de 340 kgf, valor en el que fue observada una deformación importante, y fueron registrados los valores promedio de L_z de estos elementos. Como dispositivo se utilizó una máquina universal de tensión marca Dillon, modelo NSI/FI127 con capacidad de 0 – 10000 lb_f.



Figura 8. Dispositivo utilizado para prueba de carga efectuada a un elemento individual de la matriz.

RESULTADOS.

Los resultados obtenidos de la prueba de carga descrita en la sección anterior se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Datos pruebas de carga llevadas a cabo para determinar la capacidad de cada elemento individual de la matriz.

Carga (kgf)	L_z (cm)	ΔL_z (cm)
0	144.24	0.00
20	144.24	0.00
40	144.24	0.00
60	144.24	0.00
80	144.24	0.00
100	144.24	0.00
120	144.24	0.00
140	144.24	0.00
160	144.23	-0.01
180	144.19	-0.04
200	144.09	-0.10
220	143.95	-0.14
240	143.90	-0.05
260	143.80	-0.10
280	143.70	-0.10
300	143.40	-0.30
320	142.60	-0.80
340	141.70	-0.90

Se esquematizan los resultados obtenidos en las siguientes gráficas:

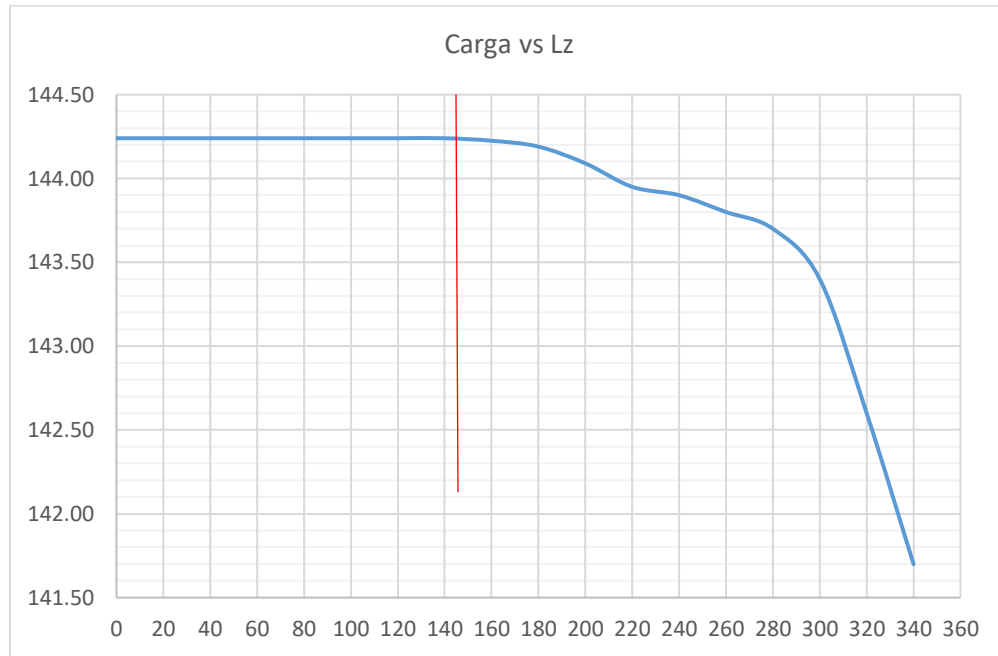


Figura 9. Gráfica de carga contra desplazamiento vertical L_z .

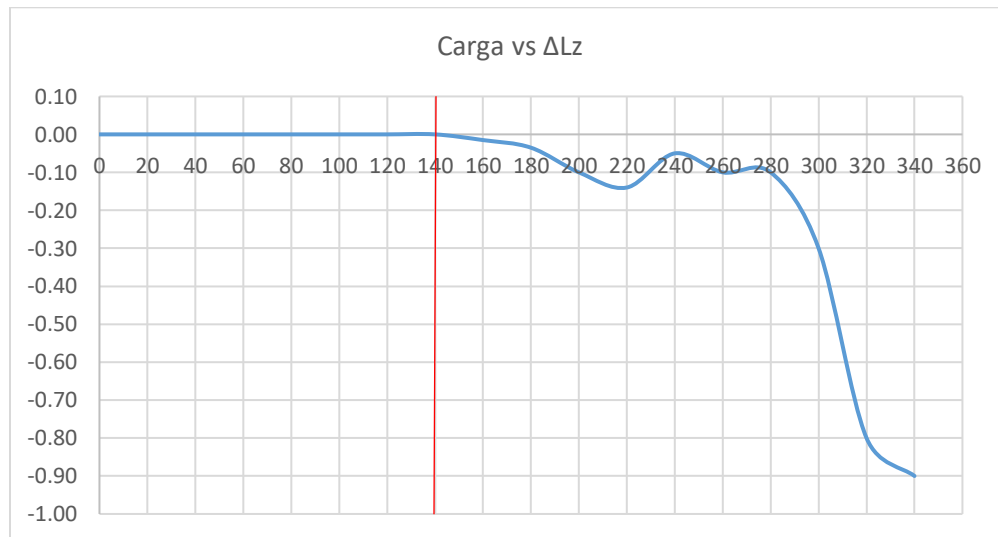


Figura 10. Gráfica de carga contra cambio en el desplazamiento vertical ΔL_z .

De los datos anteriores se observa que después de los 140 kg_f el elemento comienza a presentar una deformación en estructura. En base a este resultado, y como medida de seguridad, se designa una capacidad máxima de 100 kg_f para cada elemento. De aquí que la capacidad total de la matriz se encuentra dado por el producto de este valor, por la cantidad de elementos individuales; por ejemplo, para una matriz de 5x5 elementos ($M_{5 \times 5}(\mathbb{C})$) se tendría que esta presentaría una capacidad total de 25 kg x 10 = 2500 kg.

El uso de la tarima compuesta por acero ha sido muy provechoso en los procesos internos de la línea de producción, ya que por su composición química (SAE 1015 [5]) son más resistentes comparándolo contra otras tarimas compuestas de otros materiales como la madera. Además, su almacenamiento no está limitado a estar bajo techo, es decir, puede ser almacenada en cualquier condición climatológica, sin afectar significativamente su función.

Los materiales que se utilizan para la elaboración de esta tarima son desperdicios del proceso de fabricación de castillo, cada hoja para castillo que se fabrica tiene un peso de 25 kg. Se requiere de hacer pruebas para asegurar que se cumplan con las especificaciones del producto, dicha prueba pasa a ser un desperdicio el cual es aprovechado para la fabricación de las tarimas.

Las medidas que se manejan de estas tarimas son de 1 metro cuadrado, sin embargo, a diferencia de utilizar tarimas con medidas estándar, estas pueden ser diseñadas a la medida que sea requerida por la planta.

La optimización que se le da al material defectuoso de otros procesos, para habilitarlo como tarima sin lugar a duda es realmente positiva ya que es muy fácil de manipular y también facilita el traslado de distintos materiales, tales como subproductos, chatarra, entre otros.

Actualmente, la capacidad de la tarima es para levantar y trasladar cargas de más de 1 ton, la cual es suficiente para los productos que son movidos internamente.

CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.

En base a los resultados que se obtuvieron en la línea, en cuanto a el almacenamiento, levantamiento, traslado y desalojo de material, se puede concluir que la tarima es altamente rentable y además de cumplir con los requerimientos de la línea cumple con la función de bajar los gastos por la compra de estas, esto utilizando desperdiciados de una planta de trefilado.

Si bien es cierto que el tiempo útil de la tarima es bastante bueno, en busca de la mejora continua, se recomienda pintarla o en su defecto galvanizarla. Esto para brindarle un acabado que mejore su imagen y le ofrezca mayor durabilidad a la que ya presenta.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Fonseca Vega J. A., Guamán Campoverde Á. H. (2011). *Proceso de Galvanizado en Caliente Con Recubrimiento de Zinc Para Piezas Metálicas*. (Proyecto de Grado). Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería – Universidad Estatal de Milagro. Ecuador.
- [2] Friedberg Stephen H., Insel Arnold J. & Spence Lawrence E. (2003). *Linear Algebra Fourth Edition*. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- [3] Mora Núñez F. (2010). *Materiales Para Construcción la Estación, Un Crecimiento Sostenido*. (Memoria de Experiencia Profesional). Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas - Instituto Politécnico Nacional. México.
- [4] NMX-B-253-CANACERO-2013, *Industria Siderúrgica – Alambre de acero liso o corrugado para refuerzo de concreto – Especificaciones y métodos de prueba*, Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero Organismo Nacional de Normalización.

[5] NMX-B-365-CANACERO-2017, *Industria Siderúrgica – Alambión de acero al carbono para trefilación – Especificaciones y métodos de prueba*, Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero Organismo Nacional de Normalización.

[6] NMX-B-503-CANACERO-2011, *Industria Siderúrgica – Alambre de acero al carbono para uso general sin recubrimiento – Especificaciones y métodos de prueba*, Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero Organismo Nacional de Normalización.

[7] NMX-B-456-CANACERO-2017, *Industria Siderúrgica – Armaduras electrosoldadas de alambre de acero para castillos y dalas – Especificaciones y métodos de prueba*, Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero Organismo Nacional de Normalización.

[8] NMX-B-507-CANACERO-2011, *Industria Siderúrgica – Alambre de acero al carbono recubierto de zinc (galvanizado) – Especificaciones y métodos de prueba*, Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero Organismo Nacional de Normalización.

[9] *El uso de tarimas en los procesos de embalaje*. Obtenida el 26 de febrero del 2018, de <https://www.packsys.com/blog/tarima/>.