DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PROTOTIPO MULTIFUNCIÓN PARA EL MONTAJE Y MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN TORRES AUTOSOPORTADAS DE TELECOMUNICACIONES DE 24 METROS DE ALTURA PARA LA EMPRESA MAGA.CIA.LTDA

Santiago Esteban Larrea Santamaría

Carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército – Av. Progreso S/N, Sangolquí Ecuador

RESUMEN

El proyecto consiste en el diseño y construcción de una máquina prototipo que ayude a disminuir el tiempo, las herramientas y la mano de obra dentro del proceso de ensamble de torres de telecomunicaciones empernadas. Por medio de investigaciones bibliográficas y de campo se conocieron los diferentes métodos que se empleaban para llevar a cabo el procedimiento de ensamble de estructuras empernadas, es así que se determinó que la alternativa más viable para llevar a cabo este procedimiento era a través del uso de una llave de impacto inalámbrica acoplada con un mecanismo multifunción.

Dicho mecanismo tiene la capacidad de reemplazar y colocar en los agujeros de la estructura una tuerca y un perno de manera simultánea, además de darle el ajuste necesario estipulado según el diseño de la estructura. En el desarrollo de las pruebas se comprobó que efectivamente la máquina prototipo disminuye el tiempo en el proceso de montaje de las torres empernadas mejorando así la forma tradicional de montar las estructuras empernadas.

ABSTRACT

The project involves the design and construction of a prototype machine to help decrease the time, tools and labor in the assembly process of telecommunications towers bolted. Through literature research and field met the different methods used to carry out the

process of assembly of bolted structures, so it was determined that the most viable alternative to perform this procedure was through the use of an impact wrench mechanism wirelessly coupled with a multifunctional.

This mechanism has the ability to replace the holes and place in the structure of a nut and bolt simultaneously, besides giving the necessary adjustment provided by the design of the structure. In the development of tests it was found that effectively decreases the time prototype machine in the assembly process of the towers bolted thereby improving the traditional way of mounting structures bolted.

---

1. Introducción

La carencia de tecnología en el Ecuador, en lo referente a procesos de unión con pernos, crea la necesidad de implementar nuevas máquinas y buscar alternativas que ayuden a disminuir el tiempo que se emplea en armar manualmente las juntas empernadas. Para lo cual se propone diseñar y construir una máquina prototipo que acorte el tiempo de montaje y desmontaje de uniones empernadas en torres de telecomunicaciones de 24 metros de altura.

MAGA CIA.LTDA como empresa auspiciante, ha encontrado deficiencias en el proceso de montaje y mantenimiento de las juntas empernadas de sus torres, debido a que la principal desventaja de dicho proceso es el manejo de herramientas manuales que no facilitan del todo el cumplimento de los plazos de tiempo establecidos, esto se debe a que emplean como fuerza motriz al ser humano y muchas veces las herramientas que se usan se encuentran en mal estado; por lo que MAGA CIA.LTDA expresa la necesidad de contar con una máquina prototipo que trate de mejorar este proceso y ayude al obrero a cumplir con los plazos de tiempo establecidos.

Las funciones que realizará la máquina prototipo serán: colocar y remover los pernos durante el proceso de ensamblaje y mantenimiento de las torres autosoportadas de telecomunicaciones de 24 metros de altura, por medio de un mecanismo especial el cual se encargará de dispensar las tuercas y los pernos agilitando el proceso de ensamble de la torre

2. Metodología

2.1. Descripción del Área de Aplicación

El diseño de la máquina prototipo favorece principalmente a las empresas que se dedican a la producción de torres de telecomunicaciones de 24 metros de altura, debido a que normalmente para el montaje de una torre de telecomunicaciones de 24 metros de altura, se emplea alrededor de 10 montajistas, un promedio de 402 pernos y aproximadamente 10 días; es así que este sistema proporciona agilidad en el proceso, disminuye el tiempo de ensamble hasta en un 40% y ofrece seguridad a los montajistas.

2.2. Metodología

Para poder efectuar una correcta selección de los elementos y sistemas utilizados en la máquina prototipo construída se efectuó un Diseño Geométrico en la mayoría de los elementos que se detallan en el capítulo 3 de la presente tesis, a continuación se enlistan los elementos que se diseñaron por este método:

- Bastidor carcasa móvil
- Carcasa móvil
- Brida de soporte
- Motor DC 1
- Tornillo elevador de tuercas
- Copa
- Chumacera
- Tornillo desplazada pernos
- Dispensador pernos
- Empujador de pernos
- Soporte y motor DC 2

El diseño de la máquina prototipo se lo realizó usando varios programas de diseño mecánico, entre los principales programas utilizados se mencionan los siguientes:

- Autocad 2D
- Solid Works
- Math-Cad
- Microsoft Office

Con la simulación del montaje del prototipo en estos programas se prosiguió a la construcción y ensamblaje de los distintos elementos involucrados en el funcionamiento de la máquina.

Esta construcción y posterior ensamblaje se encuentra detallado en el capítulo 4 del presente proyecto.

Finalmente para efectuar el análisis económico y financiero de la construcción de la máquina prototipo se utilizó el programa Microsoft Excel, obteniendo en conclusión que el proyecto es rentable con un valor del VAN de 1190.32 USD en proyección a 5 años útiles de trabajo y una Tasa de Retorno TIR de 28% siendo un resultado aceptable tomando en cuenta el beneficio que la empresa auspiciante obtendrá al reducir el tiempo y mano de obra necesarios en el proceso de mantenimiento y ensamblaje de torres de telecomunicaciones de 24 metros de altura.

3. Características técnicas de la máquina prototipo

Tabla 1 Características técnicas de la máquina prototipo

PARÁMETRO	***DETALLE***
Llave de impacto	Torque mínimo de 110 [N-m]
Voltaje llave de impacto	Mínimo 18 [V]
Pernos	5/8"x2"
No. de pernos por carga	3
Peso de la máquina prototipo	13.5 [Kg]
PARÁMETRO	***DETALLE***
Temperatura	Máximo 40 [°C]
Potencia motor eléctrico DC1	0.78 [W]
Potencia motor eléctrico DC2	0.33 [W]

Voltaje motor eléctrico DC1 y DC2	4.8 [V]
Chumacera	diámetro exterior: 25 [mm] diámetro interior: 10 [mm]
Tornillo desplaza pernos	185 [mm]
Tornillo elevador de tuercas	55 [mm]

Fuente: Elaboración propia.

4. Pruebas

4.1. Descripción y resultados

Se llevaron acabo dos tipos de pruebas, en la primera fue necesario emplear a dos montajistas de torres autosoportadas, previamente inducidos sobre el uso de la máquina prototipo y se realizaron algunas pruebas sobre placas perforadas usadas en las torres. Esta prueba básicamente sirvió para determinar la maniobrabilidad del aparato y familiarizar a los empleados de la empresa beneficiaria sobre los usos y limitaciones que posee la máquina prototipo construída.

La segunda prueba de campo fue realizada sobre una torre de 42 m de altura donde se comprobó la funcionalidad de la máquina prototipo en su totalidad.

Para lograr determinar si la máquina prototipo ayudaba a disminuir el tiempo de ensamble en juntas empernadas, se procedió a ensamblar manualmente los pernos de las juntas y posteriormente se procedió a ensamblarlos con el nuevo aparato, dichas pruebas consistían en:

- Armar y desarmar una junta de un solo perno manualmente y luego aumentar un perno hasta llegar a la cantidad de tres pernos que es la carga que se especifica en el diseño.
- Armar y desarmar una junta de un solo perno con la máquina prototipo y luego aumentar un perno hasta llegar a la cantidad de tres pernos que es la carga que se especifica en el diseño.
- Tomar el tiempo que se demora en cada procedimiento con 1, 2 y 3 pernos.

- Tabular los datos obtenidos en tablas para determinar si ayuda a disminuir el tiempo.
- Comparar los datos obtenidos.

A continuación se presentan las tablas donde se detalla el resultado de las pruebas realizadas:

Tabla 2 Datos de ensamble manual

ENSAMBLE MANUAL					
Cant. Pernos	**t1 (mm:ss,ss)**	**t2 (mm:ss,ss)**	**t3 (mm:ss,ss)**	**t4 (mm:ss,ss)**	**PROMEDIO (mm:ss,ss)**
1	**01:09,76**	**01:10,83**	**01:23,34**	**01:10,10**	**01:13.5**
2	**02:14,96**	**02:10,75**	**02:25,38**	**02:14,96**	**02:16.5**
3	**03:36,46**	**04:01,13**	**03:28,11**	**03:53,17**	**03:44.7**
DESENSAMBLE MANUAL					
1	**00:42,60**	**01:03,46**	**02:29,35**	**00:56,69**	**01:18.0**
2	**01:58,80**	**01:21,01**	**01:37,14**	**02:01,12**	**01:44.5**
3	**02:59,90**	**03:14,72**	**03:05,21**	**02:48,69**	**03:02.1**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3 Datos de ensamble con la máquina prototipo

ENSAMBLE CON MÁQUINA PROTOTIPO					
Cant. Pernos	t1 (mm:ss,ss)	t2 (mm:ss,ss)	t3 (mm:ss,ss)	t4 (mm:ss,ss)	PROMEDIO (mm:ss,ss)
1	00:44,17	00:42,10	00:47,45	00:39,22	00:43.2
2	00:52,04	00:54,01	00:50,90	00:53,77	00:52.7
3	01:36,86	01:40,67	01:38,51	01:35,48	01:37.9
DESENSAMBLE CON MÁQUINA PROTOTIPO					
1	00:01,35	00:01,67	00:02,13	00:01,78	00:01.7
2	00:14,05	00:13,66	00:15,44	00:14,10	00:14.3
3	00:21,60	00:20,01	00:21,79	00:19,47	00:20.7

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Análisis de resultados

Se aprecia una diferencia notoria entre los resultados obtenidos mediante el método tradicional de ensamble y el método propuesto con la máquina prototipo. Esta diferencia se puede expresar en la reducción de horas de trabajo empleadas en cada torre.

Básicamente la diferencia en porcentaje del tiempo empleado por cada tipo de junta se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 4 Diferencia en porcentaje de tiempos

Cant. Pernos	Ensamble Manual (mm:ss,ss)	Ensamble con Máquina prototipo (mm:ss,ss)	Diferencia Porcentual (%)
1	**01:13.5**	**00:43.2**	**32.36 %**
2	**02:16.5**	**00:52.7**	**38.61 %**
3	**03:44.7**	**01:37.9**	**43.57 %**
	Desensamble Manual	**Desensamble con Máquina prototipo**	
1	**01:18.0**	**00:01.7**	**97.82 %**
2	**01:44.5**	**00:14.3**	**86.32 %**
3	**03:02.1**	**00:20.7**	**88.63 %**

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de la tabla 4 reflejan la ayuda que proporciona la máquina prototipo en el ensamble de este tipo de torres.

5. Conclusiones

- El material empleado en la construcción del modelo inicial del mecanismo dispensador de pernos fue Nylon, obteniendo resultados poco satisfactorios al maquinarlo pues este material se comporta de manera inestable ante los cambios de temperatura. Siendo necesario cambiar el material del mecanismo al Acero A36 debido a que sus propiedades mecánicas lo hacen más versátil.

- El peso del prototipo construido esta dentro del rango permisible para el uso de herramientas en la altura que se limita a 20 kg en total, debido a que el prototipo se construyó con materiales de espesores delgados y de longitudes reducidas el peso asciende a 6 kg facilitando su manejo.

- El tiempo que se empleaba en realizar el procedimiento de ensamble manual de las torres se redujo en un 40%, ya que antes este proceso se lo llevaba a cabo en 10 días y luego de la construcción de la máquina prototipo este proceso se podría llevar a cabo en 5 días, de esta forma se reduce el gasto de mano de obra.

- El uso del prototipo en las torres de 24 metros de altura está limitado por el espacio que existe en las juntas empernadas compuestas por los ángulos perforados, al existir espacios reducidos y de difícil acceso se hace complicado el uso de la máquina prototipo en estos lugares. A pesar de esto presenta menores inconvenientes al momento de ensamblar las placas perforadas con los ángulos perforados.

- El prototipo funciona de buena manera en casos en los que los pernos se encuentran atascados por el paso del tiempo y la intemperie lo cual obliga al uso de toda la potencia de la máquina prototipo que es 300 ft-lb.

- El diseño de la máquina prototipo está planteado para pernos de 5/8 x 2 pulg. ya que son los más empleados en las juntas de las torres, además de que su peso es adecuado para el funcionamiento general de la máquina prototipo.

- El costo total del prototipo es de 4051.87 USD, tomando en cuenta todos los gastos administrativos, logísticos y de personal.

6. Referencias

6.1. Bibliográficas

- Vinnakota, Sriramulu. Estructuras de Acero: comportamiento y LRFD. Primera ed. México. Editorial McGraw-Hill. 2006.
- McCormac, Jack. C. Diseño de Estructuras de Acero. 2da. ed. México. Editorial Alfaomega. 2002.
- Norton, Robert. Diseño de máquinas. Primera ed. México. Editorial Pearson. 1999.
- Robert Mott. Diseño de Elementos de Máquinas. Cuarta ed. México. Editorial Pearson. 2006.

7. Firmas de Responsabilidad y Revisión

DIRECTOR: Ing. Patricio Riofrío

CODIRECTOR: Ing. Milton Acosta