

DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MECANISMO PARA FABRICAR ESTRIBOS DE REFUERZO ESTRUCTURAL

Mateo Lennon Ojeda Santana
Universidad Antonio Nariño, mateojeda.s@gmail.com

Abstract— This article presents the design and construction of an alternative mechanism prototype for manufacturing reinforcing steel square links. This solution seeks to replace the manual work of workers in the construction sector for operations of figuration and cutting of steel square links; which are used as reinforcement in the manufacture of concrete columns. The design and manufacturing process of the prototype is described, as well as the different types of mechanisms that can be used for dragging, bending and cutting operations. Finally, recommendations are proposed for improvement.

keywords— Design, Construction machinery, mechanism, reinforcing steel square links.

Resumen— En este artículo se presenta el diseño y construcción de un prototipo de mecanismo alternativo para fabricar estribos de refuerzo estructural. Esta solución busca reemplazar el trabajo manual de los obreros del sector de la construcción en las operaciones de figurado y corte de flejes de acero; los cuales son utilizados como refuerzo en la fabricación de columnas de hormigón armado. Se describe el proceso de diseño y fabricación del prototipo, así como los diferentes tipos de mecanismos que se pueden utilizar para las operaciones de arrastre, doblado y corte. Finalmente, se proponen recomendaciones para su mejora.

Palabras clave— Diseño, Maquinaria construcción, mecanismo, fleje.

aproximada de 20 estribos por cada 2,5 metros de columna, que es la altura más común entrepisos y la medida más vendida en el mercado [2].

En el sector rural y en las zonas vulnerables, los estribos generalmente se fabrican en la obra de manera manual; lo que incrementa los costos, debido al desperdicio de material, la mano de obra necesaria y el mayor tiempo de construcción. Esta labor, además de causar cansancio y agotamiento en quien la realiza, es un proceso repetitivo y continuo, que puede provocar enfermedades ocupacionales al trabajador como: tenosinovitis, bursitis y trastornos musculares. Estas enfermedades están asociadas a las condiciones de trabajo, principalmente las posturas y esfuerzos inadecuados, la manipulación manual de cargas pesadas y ciertos movimientos; por lo cual pueden evitarse con un adecuado diseño del puesto de trabajo y de las tareas que deben ejecutarse [3].

Una alternativa para mejorar las condiciones laborales de los trabajadores de la construcción, al tiempo que se mejora su productividad, consiste en el desarrollo de prototipos alternativos que permitan reemplazar los métodos tradicionales y las herramientas improvisadas con que se realiza el proceso de doblado y corte de los estribos. A continuación, se describe el proceso de diseño del prototipo construido para este fin, a partir del uso de un conjunto de mecanismos acoplados a un motor eléctrico; como una alternativa de bajo costo comparada con los sistemas hidráulicos tradicionales.

I. INTRODUCCIÓN

La construcción de vivienda es uno de los principales motores de la economía del país. Según un informe de la Titularizadora colombiana, para el tercer trimestre de 2019 se presenta un crecimiento importante en la construcción de vivienda de interés social, con 7.500 unidades vendidas en el mes de septiembre. Para esta fecha, la cifra superó las 84.400 unidades. Según el ministro de Vivienda, Jonathan Malagón, las ventas de este segmento se vieron reflejadas en la creación de 121.000 empleos dentro del sector edificador [1].

Uno de los elementos estructurales para la construcción de vivienda son las columnas de hormigón, cuyo principio de estabilidad y firmeza se basa en la unión de los estribos con las varillas longitudinales (según norma internacional ACI318). Los estribos se sitúan perpendiculares a las varillas y se emplean para resistir esfuerzos de corte y de torsión en el elemento estructural. Por lo general, se elaboran con varilla de acero estriado doblados en forma rectangular, de L, o de U. Se utiliza una cantidad

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo de mecanismo para fabricar estribos de refuerzo estructural.

B. Objetivos específicos

- Establecer las características deseables del prototipo a partir del análisis de los procesos de elaboración manual y mecanizada de estribos para refuerzo estructural.
- Seleccionar los mecanismos para los sistemas de arrastre, doblado y corte del prototipo, a partir del análisis de los diferentes tipos de mecanismos aplicables a la solución del problema, según las características identificadas.
- Construir el prototipo y evaluar su funcionamiento.

III. METODOLOGÍA

El proceso de diseño inicia con la identificación de las características deseables del prototipo. Para ello, se realizaron visitas a los sitios de obra con el fin de obtener información sobre el proceso de elaboración de estribos metálicos, tanto de forma manual como mecanizada. En esta etapa se analizan aspectos como el espacio de trabajo, las herramientas o máquinas utilizadas, el tiempo requerido del proceso y la seguridad del operario, entre otros.

Una segunda etapa consiste en la selección de los mecanismos necesarios para realizar los procesos de arrastre, doblado y corte del material. Para ello, se realiza una exploración teórica sobre los mecanismos aplicables a la solución del problema. Los criterios de selección se establecen a partir de las características deseadas, las cuales se identificaron con anterioridad. Se finaliza con la descripción del funcionamiento esperado del prototipo, a partir de un boceto preliminar.

A continuación, se realizan los cálculos y los planos del prototipo, estableciendo las dimensiones y materiales a utilizar. Culminada esta etapa, se procede a la construcción de los mecanismos y su proceso de ensamble. Finalmente, se evalúa el funcionamiento y se realizan recomendaciones para su mejora.

El diseño de este prototipo se realizó mediante el software de Autodesk Inventor, este programa de diseño ofrece una plataforma que permite crear piezas de precisión, realizar simulaciones realistas y una interfaz amigable que permite que la estructura del diseño sea fácil de representar, permitiendo editar cada pieza por separado sin importar que ya estén unidas las piezas al diseño final en el ensamblaje.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Descripción del proceso de elaboración manual de estribos de refuerzo estructural

Figura 1. Proceso de elaboración manual



Fuente: Este estudio.

Generalmente, los flejes los realiza un obrero en forma manual con una producción aproximada de 75 unidades en

una hora. La Figura 1 muestra el proceso de elaboración manual de flejes, donde se puede apreciar que se utiliza una herramienta de doblado manual, utilizando un mecanismo de poleas. El ángulo de doblado se estima de manera visual y la medición se realiza con cinta métrica. Este procedimiento se caracteriza por la variabilidad dimensional del fleje, debida a la apreciación y el nivel de cansancio del operario.

B. Aplicación del método RULA (Rapid Upper Limb Assessment)

Uno de los factores de riesgo asociado a la aparición de trastornos músculo-esqueléticos se debe a la carga excesiva sobre algunas partes del cuerpo, debida a la adopción de malas posturas o de trabajo repetitivo que genera fatiga; lo cual afecta la salud del trabajador. Existen diferentes métodos para evaluar el riesgo asociado a la carga postural, entre los cuales se destaca el método RULA – *Rapid Upper Limb Assessment*. Este método evalúa los trastornos en los miembros superiores del cuerpo teniendo en cuenta la postura adoptada, la duración y frecuencia de ésta y las fuerzas ejercidas cuando se mantiene. Como resultado se obtiene un análisis cuantitativo del estrés laboral y los esfuerzos adicionales que realizan los trabajadores, los cuales pueden desarrollar a futuro enfermedades laborales [4]. La figura 2 proporciona la división que se realiza del cuerpo para evaluar la carga laboral.

Figura 2. División del cuerpo del método RULA.



Fuente: Ergonautas [online] disponible: (<https://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>)

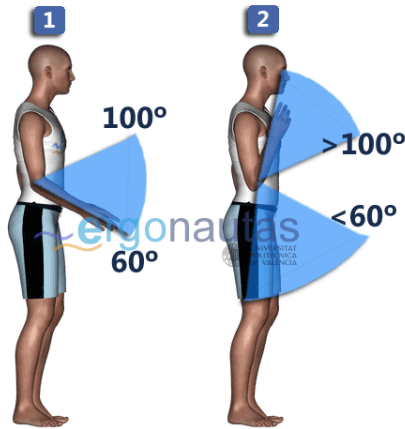
El método RULA evalúa posturas individuales y no secuencias de posturas, por lo cual el primer paso es observar y seleccionar las posturas que supongan mayor carga o duración con respecto a la posición neutra. Estas mediciones incluyen los ángulos que forman los diferentes miembros del cuerpo respecto a determinadas referencias. Las mediciones se hacen para ambos lados del cuerpo y pueden realizarse directamente sobre el trabajador mediante transportadores de ángulos; o utilizando tomas fotográficas en diferentes ángulos, donde las mediciones se hacen con ayuda de software [4].

Procedimiento:

1. Observación del operador durante varios ciclos de trabajo para seleccionar las actividades y posturas que serán evaluadas.
2. Selección de la postura de mayor duración dentro del tiempo del ciclo, o bien las que demanden al trabajador mayor esfuerzo.
3. Decidir si se evaluará el lado derecho, el lado izquierdo, o ambos.
4. Puntar las partes del cuerpo de las posturas registradas.
5. Procesar las puntuaciones.
6. Establecer la puntuación final
7. Determinar el nivel de acción y la recomendación correspondiente. [4]

La figura 3 muestra cómo se evalúan los grados de estrés que sufre el torso y la carga laboral a la que está expuesta el trabajador.

Figura 3. Medición de los ángulos en RULA



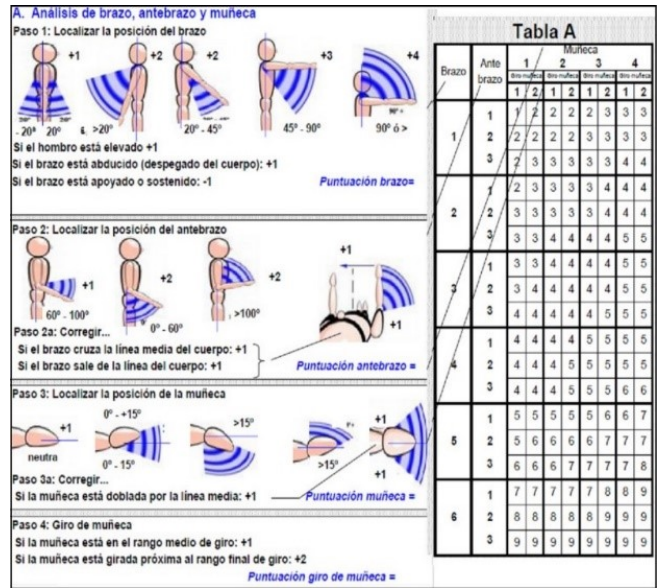
Fuente: Ergonautas [online] disponible: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>

Para una postura determinada se obtendrá una puntuación a partir de la cual se establece el Nivel de Actuación. Puntuaciones entre 1 y 2 indican que el riesgo de la tarea resulta aceptable y que no son precisos cambios. Puntuaciones entre 3 y 4 indican que es necesario un estudio en profundidad del puesto porque pueden requerirse cambios. Puntuaciones entre 5 y 6 indican que los cambios son necesarios y 7 indica que los cambios son urgentes. En definitiva, RULA permite al evaluador detectar posibles problemas ergonómicos derivados de una excesiva carga postural [4]. Los resultados de las mediciones realizadas se muestran en la Figura 4.

Según análisis RULA para el proceso de doblado de flejes, se pudo determinar que este procedimiento de trabajo da una puntuación final de 7, que interpretado recomienda estudiar y modificar inmediatamente el proceso operativo. Se llegó a esta conclusión a partir del siguiente análisis de la postura. Primero, se analiza la postura que tiene el brazo al realizar un fleje, la cual suma 2 puntos desde la postura normal del brazo. Segundo, se evalúa el antebrazo junto con el codo, que es la articulación que conecta a estos dos miembros. Se observa que esta parte del cuerpo realiza un movimiento que oscila entre los 0° y 60° tomando como punto inicial la postura del brazo en descanso. Se obtienen así 2 puntos adicionales para el análisis. Tercero, se evalúa la parte de la muñeca y la mano, donde se identifica que la muñeca es la parte que sufre mayor estrés, debido a que se inclina en ambas direcciones (horizontales y verticales)

haciendo esfuerzos repetitivos. Se da una puntuación de 3 puntos más.

Figura 4. Aplicación método RULA al proceso manual de elaboración de estribos.



Fuente: Este estudio.

El proceso manual de figurado de acero se caracteriza por el alto grado de esfuerzo provocado en las articulaciones, que, sumado a las largas jornadas de trabajo y a una tarea repetitiva, tiene el potencial de provocar lesiones a corto y largo plazo, como luxaciones, daño de ligamentos, síndromes del manguito rotador, síndrome del hombro doloroso, escoliosis, lordosis, rupturas de ligamentos, desplazamiento de discos y hernias discales. Al realizar el estudio para el tren superior de articulaciones corporales se identifica la necesidad de disminuir el estrés laboral en el operario, junto con el riesgo y los costos que provoca esta actividad. Para ello, se diseñará un prototipo automático de doblado de flejes, que busca mejorar la productividad y condiciones laborales de los trabajadores de la construcción.

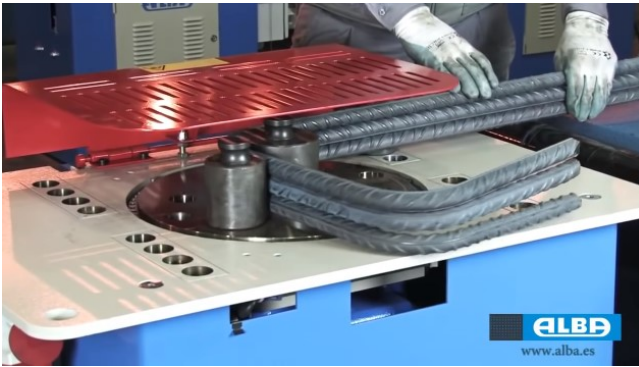
C. Descripción del proceso de elaboración de estribos utilizando máquina semiautomática convencional.

La dobladora semiautomática es una máquina compuesta por un sistema mecánico que dobla las barras de acero, impulsado por un motor eléctrico o hidráulico, el cual es accionado a través de un pedal que inicia el proceso de figurado. Además, presenta una bancada en la que se encuentra un plato giratorio por la que pasan las barras de acero. Este plato consta de una serie de agujeros tanto en el interior como en su perímetro. En el centro del plato se encuentra colocado un eje que se acopla a la caja de transmisión y en el que se pueden colocar bujes o matrices que son intercambiables dependiendo del diámetro de curvatura de doblado [5].

Una vez preparada la máquina, el operario toma las barras de acero, previamente cortadas a las medidas requeridas, y las introduce en la matriz. Las barras se ponen a nivel y el operador presiona el pedal que acciona el motor, permitiendo que el plato comience a girar y se doblen las barras hasta conseguir el ángulo requerido. En este momento, se acciona el pin del final de carrera, el plato inicia a su posición inicial y se detiene el motor; permitiendo

retirar las barras y preparar la bancada para una nueva carga de trabajo [5]. La Figura 5, muestra una máquina dobladora de flejes de este tipo. El uso de esta máquina modifica las condiciones de trabajo comparadas con los métodos manuales, disminuyendo el esfuerzo físico del proceso de doblado. Su altura brinda una posición ergonómica para los brazos.

Figura 5. Máquina hidráulica para elaboración de estribos



Fuente: Alba [online] disponible: <http://alba.es/productos/maquinas-de-ferralla/dobladora-de-ferralla>

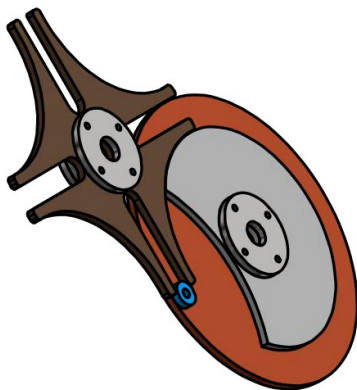
D. Mecanismos seleccionados para el diseño del prototipo

A continuación, se hace una breve descripción del proceso los mecanismos seleccionados para los sistemas de sincronización, arrastre, doblado y corte, explicando sus características.

Sistema de sincronización

Está compuesto por un mecanismo de cruz de malta de cuatro entradas que permite sincronizar el sistema de arrastre de la varilla del fleje. El mecanismo es accionado por medio de un piñón que va acoplado al eje central, el cual impulsa la rueda motriz de la cruz de malta. Realiza un avance de 4 movimientos que desplazan $\frac{1}{4}$ del perímetro de la circunferencia del disco de arrastre, que esta acoplado al eje central de trasmisión. De esta forma, se convierte el movimiento circular en uno intermitente que brinda los tiempos necesarios para el avance y posterior doblado del alambre. La Figura 6 muestra el mecanismo diseñado.

Figura 6. Sistema de sincronización empleando el mecanismo de cruz de malta.

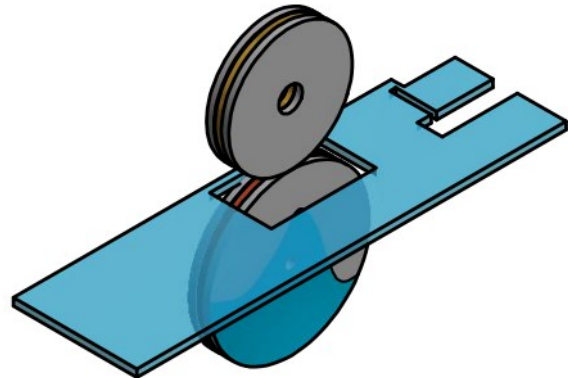


Fuente: Este estudio.

Sistema de arrastre

El sistema de arrastre permite jalonar el material de trabajo para su posterior doblado. Está compuesto por dos ruedas de fricción y una placa de guía, tal como se indica en la figura 7.

Figura 7. Sistema de arrastre por fricción.

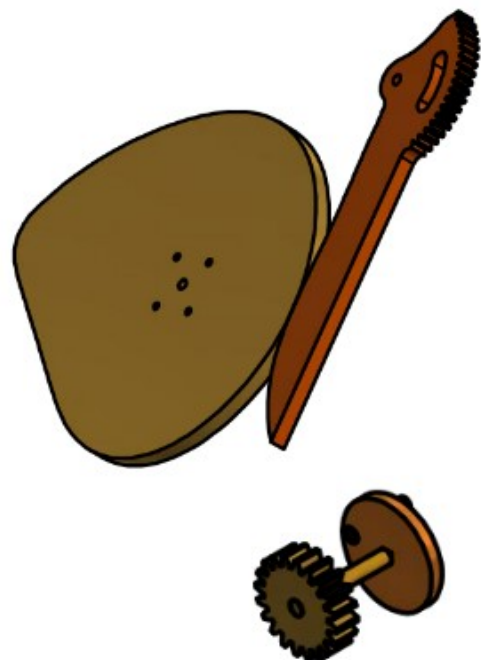


Fuente: Este estudio.

Sistema de doblado

El sistema de doblado consta de un mecanismo de leva y seguidor, que se alimentan del movimiento del eje central, como se muestra en la Figura 8. En este caso en particular, la leva transmite el movimiento a una palanca que posee en uno de sus extremos cierta cantidad de dientes, los cuales se acoplan a un piñón que transmite el movimiento al otro extremo del prototipo mediante un eje. En el otro extremo del eje se encuentra una rueda con un vástago, encargados de realizar el doblado de la varilla. La relación de los dientes de la palanca y de el piñón es de 3/1, para transformar el recorrido de 30° de la palanca en los 90° de rotación del piñón y la rueda con el vástago, necesarios para generar un ángulo de doblado rectangular.

Figura 8. Sistema de doblado

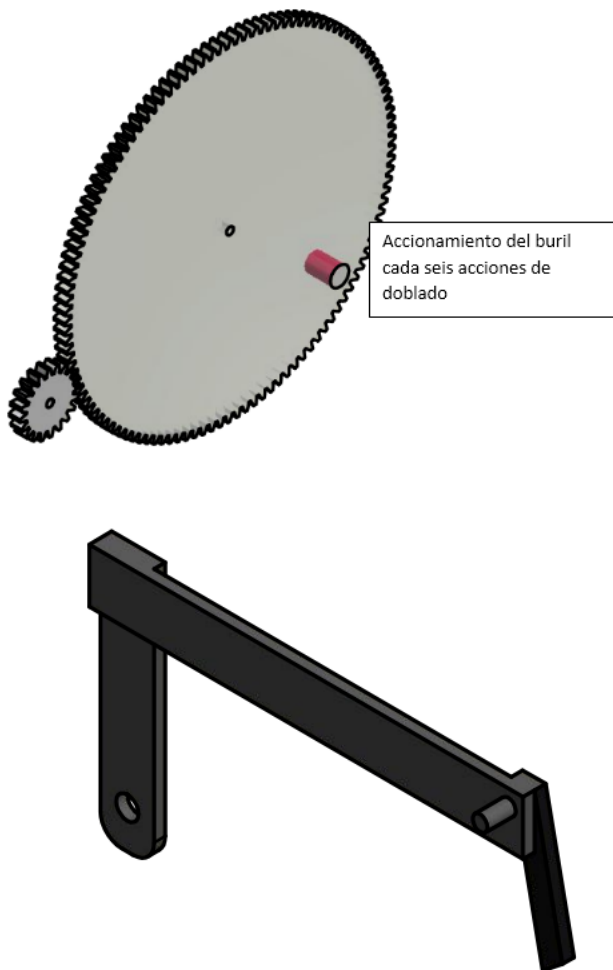


Fuente: Este estudio.

Sistema de corte

El sistema de corte utiliza un sistema de piñones que tiene una relación de 6 a 1, puesto que es necesario que todos los demás mecanismos realicen sus funciones 6 veces para que se termine con el proceso de doblado del fleje. Un vástago fijado en el engranaje activa un segundo mecanismo, compuesto por una palanca y un buril de corte, tal como se indica en la Figura 9. Este mecanismo proporciona la fuerza y velocidad suficiente para cortar el alambre, sin que interrumpa los tiempos de accionamiento de los demás mecanismos. Una vez se deja de aplicar la fuerza, el mecanismo retrocede por la acción de un resorte.

Figura 9. Sistema de corte

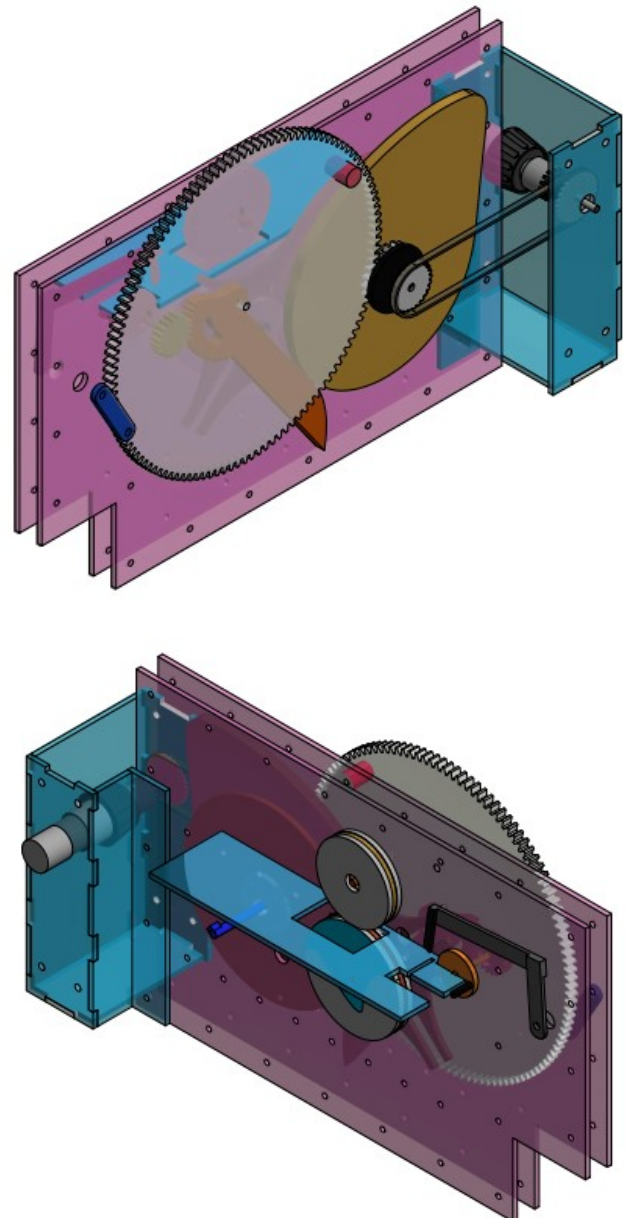


Fuente: Este estudio.

E. Boceto propuesto y planos de construcción

El diseño final del prototipo consta de varios sistemas. El primero, corresponde al sistema impulsor, para lo cual se emplea un motor eléctrico y un reductor, alojados en la caja de color azul. Por facilidad en la conexión, se selecciona un motor de tipo monofásico. El torque generado se transmite por medio de una cadena al eje principal, o eje motriz, el cual impulsa los mecanismos que componen los sistemas de sincronización, arrastre, doblado y corte; encargados de realizar el proceso de flejado como se describió con anterioridad. Finalmente, se encuentra la estructura de color morado, compuesta por dos placas que se encargan de alojar los diferentes elementos y dar rigidez al prototipo. A continuación, en la figura 10 se presenta la vista frontal y trasera del prototipo propuesto, la cual se elaboró utilizando el software de diseño Inventor de Autodesk.

Figura 10. Boceto

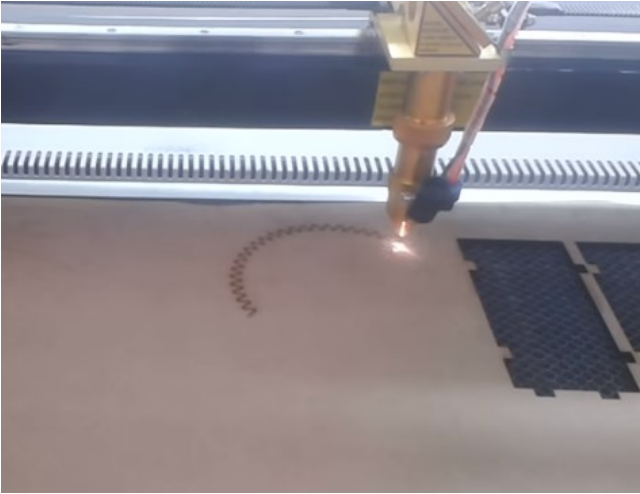


Fuente: Este estudio.

F. Proceso de construcción

Para iniciar con el proceso de construcción del prototipo se partió de los planos digitales, los cuales fueron exportados a una máquina de corte laser, encargada de elaborar cada una de las piezas de los mecanismos diseñados. Para ello, se contó con la colaboración del SENA, quien facilitó el uso de la máquina. Como material de construcción se utilizaron paneles de material aglomerado MDF, de 8 mm de espesor, los cuales se recortaron para ajustarse a las dimensiones de la mesa de trabajo. El tiempo de corte dependió de la geometría y el tamaño de la pieza. En total, se utilizaron 5 horas de trabajo para esta actividad. La figura 11 muestra el proceso de corte para uno de los engranajes del proyecto.

Figura 11. Proceso de corte laser



Fuente: Este estudio.

A continuación, se procedió al ensamble de las piezas. Este trabajo se realizó en un taller de mecánica de motos, por la disponibilidad de herramienta. Los paneles se aseguraron con tornillos de madera de 1/2" y arandelas de presión. Para la elaboración de los ejes se utilizó varillas roscadas de diámetro 1/8". Una vez finalizado el ensamble se procedió a instalar el motor de una máquina de coser para impulsar el prototipo, al cual se le adaptó un mecanismo de cadenilla para la transmisión de potencia al eje principal. El ensamble tuvo una duración de 4 días, donde se tuvieron que realizar varias pruebas para asegurar la alineación, sincronización y funcionamiento de los diferentes mecanismos. Se finalizó con la pintura de las diferentes piezas. La Figura 12 muestra el montaje del prototipo.

Figura 12. Montaje del prototipo



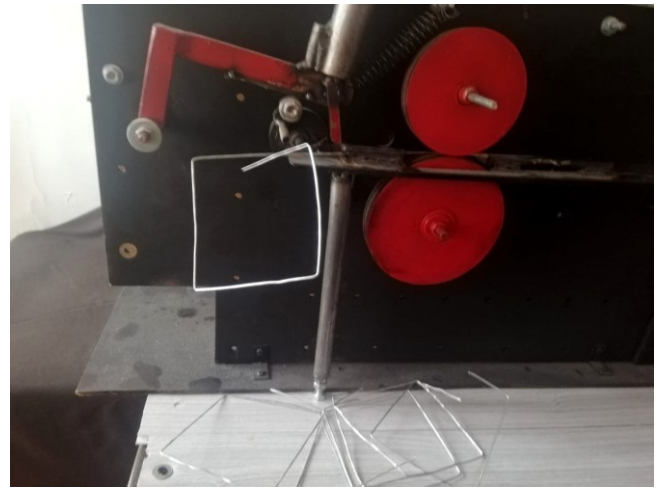
Fuente: Este estudio.

G. Pruebas de funcionamiento

Para comprobar el funcionamiento del mecanismo se realizaron varias pruebas. La primera fue en vacío, para verificar la sincronización de los mecanismos. Se contabilizaron el número de vueltas de los engranajes, la activación del mecanismo de doblado y arrastre; así como el funcionamiento de la cruz de malta. A Una vez se comprobó que los mecanismos no se trababan y funcionaban sincronizadamente, se procedió a realizar pruebas de doblado con alambre de estaño, para confirmar si se realizaba correctamente el proceso y la velocidad del

mismo. Uno de los aspectos que se pudo identificar, fue la necesidad de contar con un mecanismo de alimentación para los rollos de material, puesto que hasta el momento las pruebas se realizaron con material previamente cortado a las dimensiones del fleje. Para finalizar, se realizó la prueba de corte con alambre galvanizado calibre 8, donde se evidenciaron dos dificultades. La primera, relacionada con la potencia del motor, la cual no era suficiente para realizar el trabajo, especialmente cuando se acopló el mecanismo de corte. En este caso, se tuvo que adaptar un taladro con regulación de velocidad, el cual solucionó este inconveniente. El segundo problema se presentó con el resorte y contrapeso mecanismo de corte, los cuales no suministraban la fuerza necesaria para cortar el alambre. En este caso se tuvo que cambiar el resorte por uno que ejerciera menos fuerza para el retroceso y se adicionó peso en el extremo de la herramienta de corte, como se muestra en la figura 13. Según las mediciones realizadas el mecanismo permite elaborar 40 – 50 flejes por minuto.

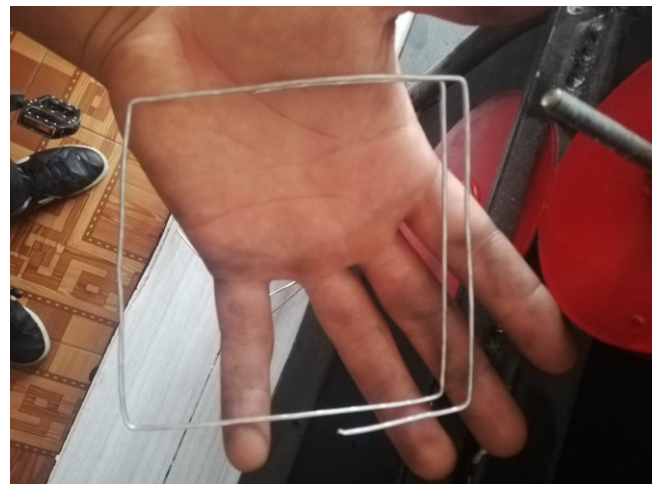
Figura 13. Pruebas de funcionamiento



Fuente: Este estudio.

La figura 14 muestra una imagen del fleje terminado de perfil cuadrado, con unas dimensiones de 10 X 10 cm.

Figura 14. Fleje o estribo en alambre



Fuente: Este estudio.

H. Recomendaciones de operación y servicio

Esta máquina funciona mediante un sistema de arrastre, uno de doblaje y uno de corte que mediante un motor eléctrico se realizara un movimiento giratorio, todos estos procesos en conjunto logran obtener resultados distintos para cada acción.

Funcionamiento:

1. Para poner en marcha el figurado del acero es de vital importancia seleccionar la forma de cómo se comprará el material, para el uso de una figuradora automática de este tipo. Se aconseja la adquisición de un alambre de acero en forma de chipa (rollo-Kg); puesto que la máquina está diseñada para arrastrar el material y desdoblarlo al mismo tiempo.
2. Es muy importante adecuar el lugar donde se ubicará el material para darle inicio al funcionamiento de la máquina, el material (varilla de acero) debe estar en una plataforma que gire de manera horizontal, así cuando los discos de arrastre giran y halan el alambre de acero, al mismo tiempo desdoblan el material para la obtención de un fleje más asimétrico y por ende de mejor calidad.
3. Se procede a instalar alambre de acero en los discos de arrastre, este sistema funciona mediante la presión que ejercen 2 circunferencias que en sus bordes poseen una superficie forrada con lija de numeración 24, esta cumple la función de incrementar la fricción evitando que el material se deslice y la longitud de los flejes no varíe realizando que las medidas de cada lado de los estribos sean iguales.

Mantenimiento preventivo

1. Lubricación: Es un aspecto vital para la optimización de cualquier proceso, puesto que esta acción, si se la realiza de la manera correcta provocara que los sistemas no opongan resistencia al movimiento, obtendremos una temperatura optima y la capacidad de vida útil de las piezas incrementa. Es recomendable lubricar la cadena de transmisión cada 180 horas de trabajo.
2. Ajustes y sincronización: El funcionamiento de esta máquina se basa en la sincronía que manejan los diferentes sistemas, es importante ubicar cada pieza centrada en las marcas, sin permitir que haya un desfase entre la pieza y la marca. En el caso de que el sistema por alguna razón interna o externa sufra un desajuste, es necesario reubicar la pieza en la marca establecida para recuperar la sincronía.
3. Mecanismo de corte: Este proceso necesita mayor cuidado, puesto que el sistema de cizalla que se usa para lograr cortar el alambre es muy delicado, al estar perfectamente ubicada se debe tener en cuenta que, si las cuchillas chocan entre ellas sin que el material este de por medio, estas perderán filo provocando que la maquina sufra atascos y en el peor de los casos ruptura de piezas de funcionamiento prioritario.

V. CONCLUSIONES

- El proceso manual de elaboración de flejes representa un factor de riesgo laboral para los trabajadores, el cual tiene el potencial de provocar lesiones a corto y largo plazo; como luxaciones, daño de ligamentos, síndromes del manguito rotador, síndrome del hombro doloroso, escoliosis, lordosis, rupturas de ligamentos, desplazamiento de discos y hernias discales.
- La aplicación del método RULA, permitió establecer una puntuación de 7, lo que justifica la recomendación de estudiar y modificar inmediatamente el proceso operativo. Para este caso, mediante la mecanización del proceso con un prototipo automático

- Las entrevistas a los centros de construcción, donde se observa de primera mano el proceso de figurado, evidenciaron que un trabajador común, normalmente realiza alrededor de 75 estribos en 1 hora de trabajo. Por su parte, la implementación del prototipo podría elevar la producción a 50 flejes por minuto, incrementando la producción en un 4000%.
- El prototipo presenta una alternativa al proceso convencional de figurado del acero de una manera eficiente y segura; al igual que mejora la calidad del producto terminado, puesto que mediante el sistema de arrastre por discos de presión realiza flejes de medidas precisas para un mejor soporte en la estructura de las vigas.
- Otra posible ventaja de este proceso es la disminución de los desperdicios de material, ya que cuando un obrero figura de manera manual los estribos, se desperdicia demasiado material al comprar las varillas de acero medidas por metro y no pesadas por rollo; ya que al utilizar este material de esta manera no se tendrán tantas pérdidas.

REFERENCIAS

- [1] C. Barbosa. ¿Está reviviendo la construcción? *El Espectador*. 30 de octubre de 2019. [En línea] <https://www.elespectador.com/economia/esta-reviviendo-la-construccion-articulo-888746>
- [2] Código de Diseño de Hormigón Armado Basado en el ACI 318. [En línea] <http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/doctec/codigo.pdf>
- [3] Comisiones Obreras de Asturias. Lesiones músculo-esqueléticas de origen laboral. [En línea] <http://tusaludnoestaennomina.com/wp-content/uploads/2014/06/Lesiones-musculoesquel%C3%A9ticas-de-origen-laboral.pdf>
- [4] Diego-Mas, Jose Antonio. Evaluación postural mediante el método RULA. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. [consulta 14-05-2020]. Disponible online: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>
- [5] Carlos Palacios (2011). Diseño de una máquina de figuración de barras de acero de refuerzo para hormigón armado. Tesis para la obtención del Título de Ingeniero Mecánico. Disponible online: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1226/7/UPS-KT00054.pdf>
- [6] Diego-Mas, Jose Antonio. Evaluación postural mediante el método RULA. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. [consulta 31-05-2020]. Disponible online: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>