

# Metodología para el diseño y modelado de una línea de ensamblaje de vigas tipo H con dimensiones variables para la industria ecuatoriana

Jossue Molina-Cárdenas<sup>1</sup>, Marcela Gallardo-Pavón<sup>2</sup>, Lenin Abatta-Jácome<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador. Email: [jsmolinal@espe.edu.ec](mailto:jsmolinal@espe.edu.ec)

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador. Email: [mrgallardo@espe.edu.ec](mailto:mrgallardo@espe.edu.ec)

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador. Email: [lrabatta@espe.edu.ec](mailto:lrabatta@espe.edu.ec)

## Resumen

La industria metalmecánica en Ecuador es clave para todas las actividades económicas; sus aleaciones, productos, máquinas y herramientas son fundamentales para el desarrollo industrial. Transformar metales en piezas, láminas, placas y partes requiere una ingeniería avanzada, una habilidad que las empresas ecuatorianas han perfeccionado en los últimos años [1].

Se propone una metodología para el diseño y modelado de una línea de ensamblaje de vigas tipo H con dimensiones variables, buscando mejorar la automatización en los procesos de ensamblaje. Esta línea se divide en tres zonas principales: transporte y armado, soldadura y post-soldadura. A diferencia de trabajos previos centrados solo en la soldadura, esta propuesta abarca un enfoque integral, con especificaciones dimensionales, investigación de alternativas, diseño conceptual, selección del mejor diseño, diseño detallado, y modelado computacional con el software Inventor. El resultado es una línea semiautomatizada que reduce la necesidad de equipos adicionales, contribuyendo al desarrollo de la industria metalmecánica ecuatoriana.

**Palabras clave:** Modelado computacional; industria; viga tipo H; línea de ensamblaje de vigas.

## Abstract

The metalworking industry in Ecuador is key to all economic activities; its alloys, products, machines, and tools are fundamental for industrial development. Transforming metals into parts, sheets, plates, and pieces requires advanced engineering, a skill that Ecuadorian companies have perfected in recent years [1].

A methodology is proposed for the design and modeling of an H-beam assembly line with variable dimensions, seeking to improve automation in the assembly processes. This line is divided into three main zones: transport and assembly, welding, and post-welding. Unlike previous works focused only on welding, this proposal encompasses an integral approach, with dimensional specifications, investigation of alternatives, conceptual design, selection of the best design, detailed design, and computational modeling with Inventor software. The result is a semi-automated line that reduces the need for additional equipment, contributing to the development of the metalworking industry in Ecuador.

**Keywords:** Computational modeling; industry; H-beam; beam assembly line.

## 1. Introducción

En la actualidad, la demanda global de estructuras de acero ha experimentado un notable incremento, impulsado por diversos factores económicos y comerciales. Según la asociación mundial del acero [2], se espera un crecimiento del 1.9% de la demanda de acero en 2024, alcanzando un total de 1,849.1 millones de toneladas. Este aumento refleja una creciente necesidad de acero, especialmente en estructuras de tamaño pequeño, donde la competencia es fundamental.

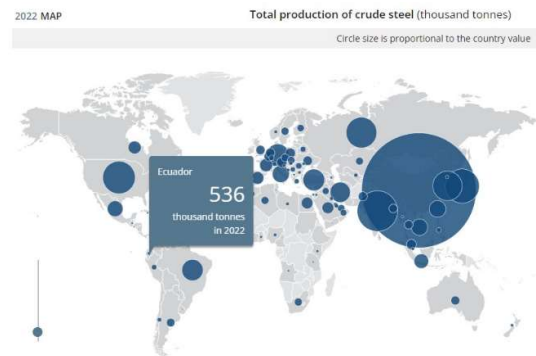


Figura 1. Producción de acero total bruto en Ecuador. Fuente: Worl Steel Association.

En América Central y Sudamérica, se anticipa una demanda significativa de aproximadamente 45.1 Mt, destacándose el uso del 52% del acero en infraestructura y un 16% destinado a maquinarias y equipo mecánico. Por lo cual se destaca la importancia estratégica de fabricar vigas y estructuras de acero adaptadas a las necesidades locales y regionales.

Ecuador, como parte integral de esta dinámica regional, enfrenta desafíos y oportunidades en el sector metalmeccánico, hasta el 2022, Ecuador tuvo una producción de 536 miles de toneladas de acero, como se muestra en la figura 1. La capacidad de adaptación e innovación en la fabricación de estructuras de acero son vitales para su desarrollo económico y para satisfacer la creciente demanda interna. En este contexto, la producción competitiva de vigas tipo H destaca como un área clave, donde el resultado en el diseño, fabricación y distribución puede posicionar a las empresas ecuatorianas como líderes en un mercado cada vez más competitivo.

Para el ensamble de vigas tipo H, es necesario identificar áreas específicas que conforman el proceso. Mediante las referencias de máquinas existentes por medio de videos [3], se han identificado tres zonas fundamentales:

En la zona de transporte y armado, se posicionan los flejes que conforman el alma y los patines de la viga. Se utilizan mecanismos de elevación, alineación y nivelación que permiten dar forma de H a la viga, asegurando la geometría mediante dos puntos de soldadura. Además, se utilizan mesas de rodillos para facilitar el transporte de la viga.

Zona de soldadura; en esta sección la viga ingresa armada, es necesario un sistema de tracción que desplace la viga a la velocidad de avance requerida en la soldadura. También son necesarios sistemas de alineación, presión y fijación de patines y alma, para evitar el desplazamiento de los elementos al ingresar en esta zona.

Finalmente, la zona de post-soldadura; tiene el propósito de girar 180 grados la viga para permitir la soldadura de los cordones restantes y obtener una viga completa.

Al enfocarse en la soldadura de la viga, se obtiene tres alternativas de máquinas basadas en las posiciones de soldadura de la viga. Según el ASME IX [4], se tienen diferentes posiciones de soldadura. Estas se diferencian dependiendo de la posición de la antorcha de soldadura y del soldador.

Alternativa posición 1F, la viga se encuentra girada de manera que el patín forma un ángulo de  $45^\circ$  con la base como se ilustra en la figura 2, la pistola de soldadura permanece en posición vertical. En esta opción, es preferible que la antorcha de soldadura se desplace a lo largo de la viga para formar los cordones. Esta configuración solo realiza un cordón de soldadura a la vez.

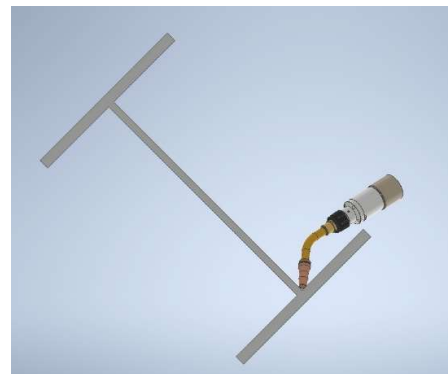


Figura 2. Posición 1F. Fuente: elaboración propia.

Posición 2F alma vertical, el patín descansa sobre la base, mientras que el alma se encuentra en posición vertical, formando un ángulo de  $90^\circ$  con el patín, como se indica en la figura 3. Las antorchas de soldadura se sitúan a  $45^\circ$  en ambos lados del alma, permi-

tiendo la soldadura de 2 cordones simultáneamente. La viga debe girar para soldar los dos cordones restantes y completar la viga.

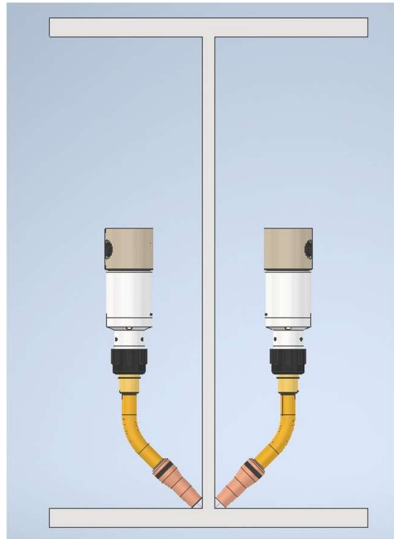


Figura 3. Posición 2F alma vertical. Fuente: elaboración propia.

Posición 2F alma horizontal, los patines se encuentran en posición vertical, mientras que el alma está orientada horizontalmente como se observa en la figura 4. Las antorchas de soldadura se colocan a 45° en ambos extremos del alma, y al igual que en la posición 2F alma vertical, se pueden soldar dos cordones a la vez.

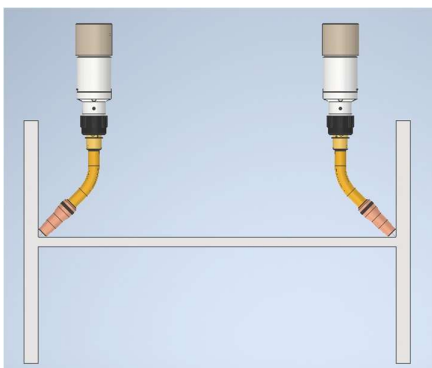


Figura 4. Posición 2F alma horizontal. Fuente: elaboración propia.

Es importante señalar que en la posición 1F, para obtener una viga completa se requiere que el carro de soldadura pase por cada vértice, es decir 4 veces por viga, a diferencia de las otras alternativas, en donde se necesita realizar la soldadura 2 veces por viga. La notable diferencia de productividad entre las opciones descarta el desarrollo del diseño conceptual para la posición 1F.

Se plantea desarrollar el diseño y modelado 3D de un sistema de ensamblaje de vigas, que abarque las zonas de transporte y armado, soldadura, y post-soldadura, específicamente para vigas de alta demanda.

Finalmente, se realizó una búsqueda detallada sobre investigaciones, así como estudios similares y se encontró que se han propuesto modelos detallados para zonas específicas del proceso de ensamblaje de vigas tipo H. Por ejemplo, el trabajo de Jesús Pino, titulado "Diseño de sistema electromecánico para la producción de vigas de acero en Metal Sur del Perú EIRL" [5], y el estudio de Noceda Rodríguez, "Diseño de una máquina para soldadura de vigas curvas que mejore la productividad en la industria metalmeccánica" [6], se centran principalmente en la zona de soldadura de las vigas. Sin embargo, estos enfoques se limitan a la optimización de partes específicas del proceso, sin abordar la necesidad de una solución integral que resulte en una máquina completa capaz de establecer una línea de ensamblaje de vigas. Esta diferencia es fundamental, ya que, el presente artículo propone una solución que integra todo el proceso de producción en una única línea de ensamblaje, además de presentar un proceso iterativo para la optimización del diseño, lo que representa una mejora significativa respecto a los enfoques existentes.

## 2. Metodología

### 2.1. Definir las especificaciones de las vigas que la máquina a diseñar puede producir.

Para establecer las especificaciones se identifica las características de las vigas con mayor demanda local, obteniendo así; vigas de peralte de 100 a 300 milímetros, anchos de patín de 100 a 250 milímetros, espesor de alma de 3 a 10 milímetros, espesor de patín de 6 a 12 milímetros, y longitudes de viga de 2 a 6 metros. Definir estos parámetros es fundamental para establecer los principales límites en el diseño del sistema.

### 2.2. Desarrollo de modelos conceptuales.

Se desarrollan dos modelos conceptuales correspondientes a las dos opciones de máquinas consideradas adecuadas previamente, posición 2F alma horizontal, que se muestra en la figura 5 y posición 2F, alma vertical, indicada en la figura 6. Se modeló únicamente la zona de armado y soldadura, ya que la zona de post-soldadura al cumplir la misma función de girar la viga 180 grados, es idéntica para ambos modelos.

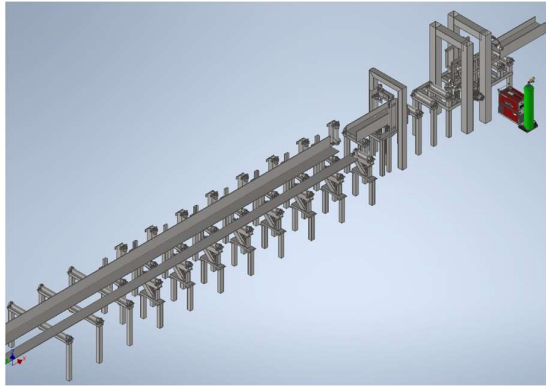


Figura 5. Modelo conceptual, posición 2F, alma horizontal. Fuente: elaboración propia.

Es necesario realizar un modelo conceptual detallado debido a que ayuda a clarificar las ideas de los modelos planteados, no es necesario realizar el modelo conceptual de la máquina con datos exactos de diámetros, o espesores de todos los elementos. El modelado de cada mecanismo ayuda a identificar posibles percances o limitaciones en fases futuras, además genera una base para el diseño detallado garantizando que los requisitos funcionales y de rendimiento se cumplan desde el principio [7].

Además, estos modelos tienen suma importancia debido a que ayudan en el proceso iterativo de diseño de forma preliminar, y facilitan la selección de la mejor alternativa.

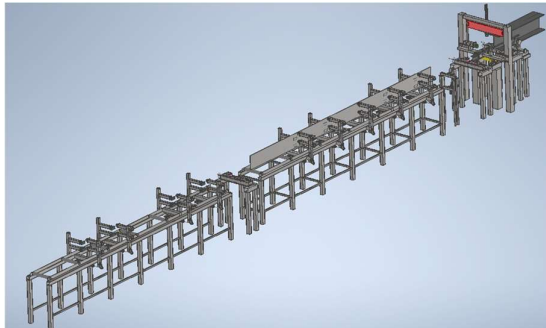


Figura 6. Modelo conceptual, posición 2F, alma vertical. Fuente: elaboración propia.

Tras realizar los dos modelos conceptuales, es posible realizar un cuadro comparativo con las características más relevantes, como se muestra en la tabla 1, obteniendo que la opción horizontal es la más factible, debido a factores como la fijación que puede proporcionar la zona de armado para el alma y los patines, además, se reduce el uso de mano de obra y equipos como puentes grúa al posicionar los flejes en la máquina.

VENTAJAS		DESVENTAJAS	
VERTICAL	HORIZONTAL	VERTICAL	HORIZONTAL

Menor número de mecanismos empleados para las zonas de armado.	Mayor número de mecanismos de sujeción de los flejes de la viga en la zona de armado.	Es necesario dos fases para posicionar los patines en el alma de la viga.	Mayor complejidad en los mecanismos de las zonas de armado y soldadura.
Baja complejidad de la zona de soldadura.	El alma y los dos patines se posicionan en una sola fase de la primera zona.	Menor fijación en la zona de armado.	Mayor número de movimientos realizados en la zona de armado.

Tabla 1. Cuadro de ventajas y desventajas en función de los modelos conceptuales.

### 2.3. Desarrollo de diseño a detalle

Una vez definido y seleccionado el diseño conceptual, se procede a realizar el diseño detallado.

Para ello es necesario realizar el diseño mecánico de cada componente de la máquina. Esto se llevará a cabo siguiendo los métodos descritos en libros, normas o códigos de construcción y catálogos de proveedores.

#### Carga requerida del sistema:

De acuerdo con las especificaciones de las vigas a producir, se calcula la carga máxima, es decir, el peso de la viga más grande. Con las dimensiones máximas del patín y del alma, se calcula el volumen tanto del patín como del alma, obteniendo así sus pesos mediante el concepto de densidad. Finalmente, se obtiene el peso de la viga sumando el peso de 2 patines y el peso de un alma que la conforman.

A continuación, se describirán los criterios más importantes que se utilizaron en el diseño detallado de cada zona de la línea de producción.

#### Zona de transporte y armado:

Para la zona de transporte, el primer criterio a considerar es la separación entre rodillos en la mesa transportadora. Según se indica en la fuente [8], "Para asegurar un transporte sin problemas de los artículos en los transportadores de rodillos, es necesario que estén soportados por al menos tres rodillos en todo momento."

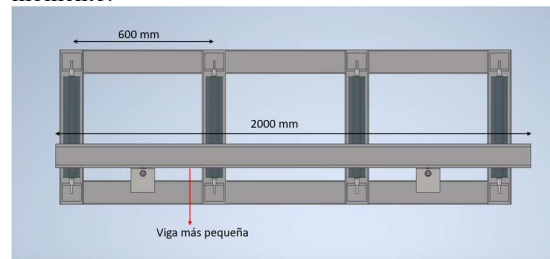


Figura 7. Separación entre rodillos. Fuente: elaboración propia.

Como se indica en la figura 7, la distancia entre rodillos es de 600 mm. De esta manera, se asegura que el artículo, en este caso la viga más pequeña de 2 m, siempre esté soportada por 3 rodillos consecutivos. En el diseño de esta zona se usarán dos tipos de rodillos: el rodillo loco con rodamientos internos y el rodillo motriz con rodamientos externos. El rodillo loco tiene el eje fijo al bastidor, mientras que el rodillo motriz puede girar y se conectará al sistema de transmisión de potencia, como se muestra en la figura 8.

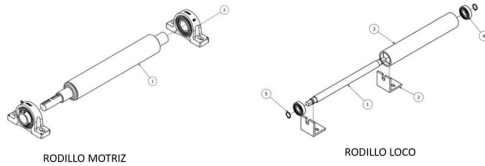


Figura 8. Tipos de rodillos diseñados. Fuente: elaboración propia.

Para el diseño de ejes de rodillos, se utilizará un análisis de fatiga y se obtendrá el diámetro aproximado con base en la ecuación (1) del diámetro del Método ASME [9]. Además, se realizará un diseño por rigidez utilizando el Criterio de Wei Jiang [10], dado por la ecuación (2).

$$d_m = \left( \frac{32 \cdot n}{\pi} \cdot \left( \frac{3}{4} \cdot \left( k_{fs} \cdot \frac{T_{max}}{S_y} \right)^2 + \left( k_f \cdot \frac{M_{max}}{S_e} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$def_{max} = 0,0005l \quad (2)$$

Donde  $l$  es la distancia entre apoyos.

Además, a manera de comprobación, se realizó la simulación en el acelerador de diseño de Inventor, como se puede observar en la figura 9.



Figura 9. Diseño del eje del rodillo motriz. Fuente: tomado del software Inventor.

Según [10], como el diseño del bastidor podría avanzar hacia una forma demasiado compleja que dificulta su análisis con técnicas tradicionales del

análisis de esfuerzos, se podría emplear un modelado de elementos finitos, para determinar si el diseño es adecuado o tal vez demasiado robusto.

Por ello, se ha optado por realizar el diseño de estructuras en el software SAP 2000 y el diseño de conexiones en el software IdeaStatica.

Primero, se realiza el modelado o diseño geométrico de la estructura en Inventor, como se muestra en la figura 10. Este diseño debe hacerse de tal forma que los componentes que conforman la máquina sean fáciles de conectar y no haya interferencias.

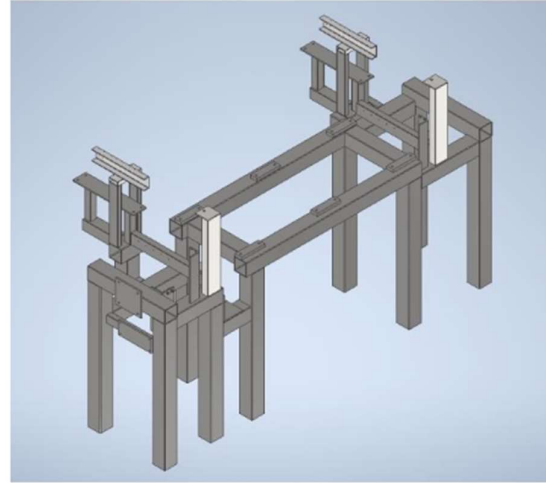


Figura 10. Diseño geométrico del bastidor de la zona de transporte y armado. Fuente: elaboración propia.

Después se realiza la simulación en SAP 2000, utilizando la carga máxima de la viga, específicamente el caso más crítico, y se traslada a cada componente del bastidor como reacción, tal como se muestra en la figura 11.

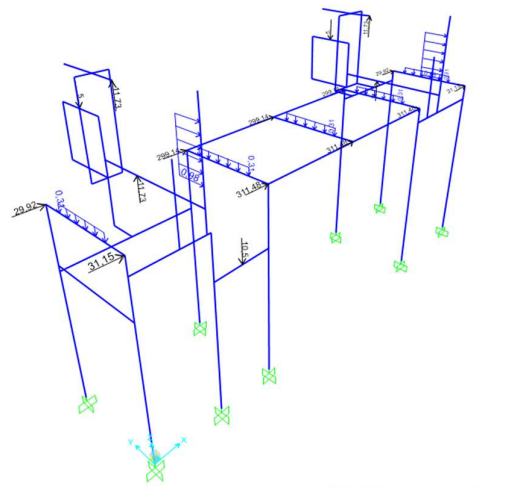


Figura 11. Cargas sobre la estructura de la zona de transporte. Fuente: elaboración propia.



Con esto se realiza la simulación como se indica en la figura 12 y se verifica su demanda a capacidad. Además, es necesario realizar el chequeo de las deflexiones máximas; para ello se utilizará el criterio de la ecuación (3), tomado de [11].

$$def_{adm} = 0,0175 \frac{longitud}{longitud\ de\ viga} \quad (3)$$

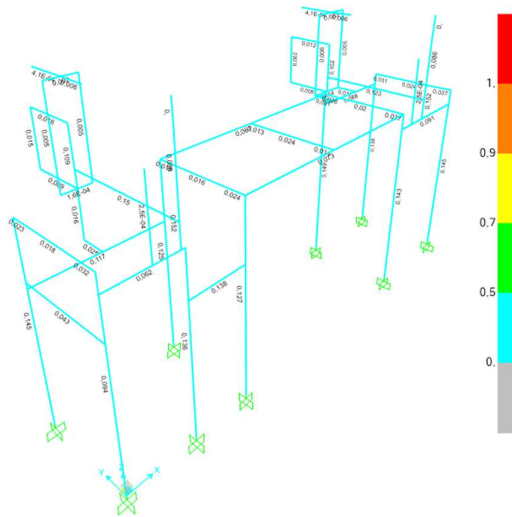


Figura 12. Resultados de demanda a capacidad. Fuente: elaboración propia.

En las conexiones, se utiliza el software IdeaStática para simular y verificar la resistencia de cada elemento de la conexión.

Primero se debe modelar la conexión. Después, se trasladan las fuerzas y momentos obtenidos de la simulación del bastidor realizada en SAP 2000.

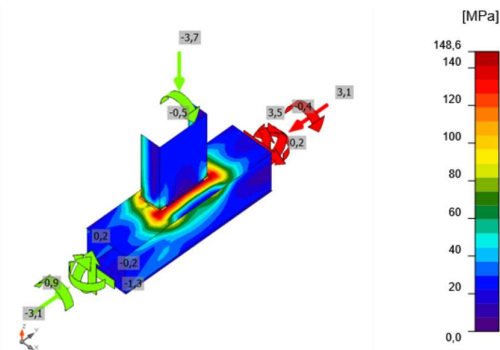


Figura 13. Resultados de esfuerzos de Von Mises de una conexión en el bastidor. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se obtienen los resultados del esfuerzo de Von Mises, como se ilustra en la figura 13, y se comparan con el esfuerzo admisible, de tal forma que

se asegure que el esfuerzo máximo no exceda el admisible.

### Zona de soldadura:

En esta zona, es importante conocer los parámetros de soldadura. Según [12], los parámetros recomendados dependerán del espesor mínimo y máximo de las placas que se soldarán. El resumen de parámetros para este caso particular se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros del proceso de soldadura.

Parámetros de Soldadura			
Parámetro	Viga con espesor mínimo (3 mm)	Viga con espesor máximo (12 mm)	
Corriente (A)	180-200	625	
Voltaje (V)	20-24	36	
Diámetro del electrodo (mm)	1.1	2.4	
Velocidad de alimentación del alambre (mm/min)	5334-7336	4064	
Velocidad de avance (mm/min)	685,8- 812,8	584,2	
Flujo de gas de protección (LPM)	9,44-11,8	14,16-16,52	
Tipo de gas de protección	80% Ar y 20% CO <sub>2</sub>		
Electrodo	ER70S-6		

Fuente: elaboración propia.

Para el diseño del sistema de transmisión de potencia, es necesario obtener la velocidad de avance de soldadura, que será la velocidad más alta a la que se realizará la misma. Para velocidades de soldadura más bajas, se deberá usar un variador de frecuencia al momento de automatizar la máquina.

Con el diámetro del rodillo obtenido y la velocidad de avance, se puede calcular la velocidad angular a la que deberán girar los rodillos, que resulta ser aproximadamente 7 rpm. Al tener una velocidad tan baja y disponer localmente solo de motorreductores con una velocidad mínima de 18 rpm, surge la necesidad de utilizar un sistema de transmisión de potencia para disminuir la velocidad.

En este caso, se ha optado por utilizar un sistema de cadenas y catalinas. Se realiza entonces un análisis de

velocidades con la relación de transmisión, se determina el número de dientes y se seleccionan las cadenas y las catalinas en función de la disponibilidad. Para ello, se utiliza el catálogo de SYL KANA [13], el resultado se indica en la figura 14.

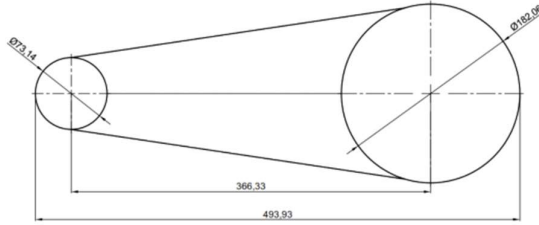


Figura 14. Resultados de sistema de transmisión. Fuente: elaboración propia.

Para los movimientos lineales que se realizarán en la máquina, como la alineación de patines y alma, la elevación de alma, el presionador de alma y los posicionadores de antorchas, se ha decidido utilizar actuadores neumáticos, específicamente cilindros de la marca FESTO [14].

$$D_{emb} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{empuje}}{\pi \cdot P_{cil}}} \quad (4)$$

Basándose en los casos más críticos de cada movimiento, se obtiene la fuerza de empuje y con esto se selecciona el cilindro más adecuado. Para ello, se utiliza la definición de presión. Reemplazando el área de un círculo en la ecuación de presión, se puede obtener la expresión de la ecuación (4), que servirá para el cálculo aproximado del diámetro del cilindro.

Además, se verifica el pandeo en el cilindro, para ello debe cumplirse la ecuación (5), en donde la fuerza de pandeo viene dada por la ecuación (6).

$$F_{pandeo} \geq F_{empuje} \quad (5)$$

$$F_{pandeo} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_p^2 \cdot F.S} \quad (6)$$

Es importante destacar que el cilindro neumático seleccionado depende de la función específica que realice cada actuador. Se han escogido dos tipos de cilindros: el cilindro normalizado DSBC para aquellos movimientos que no demanden mayor precisión, y el cilindro guiado DFM para aquellos movimientos que requieran precisión, como en los posicionadores de las antorchas.

En caso de diseñar el sistema de ensamblaje para vigas de dimensiones más grandes, se deben cambiar los cilindros neumáticos por actuadores hidráulicos.

## Zona de post- soldadura:

Para la zona de volteo, se ha decidido utilizar brazos rotadores con actuadores neumáticos como se muestran en la figura 15.

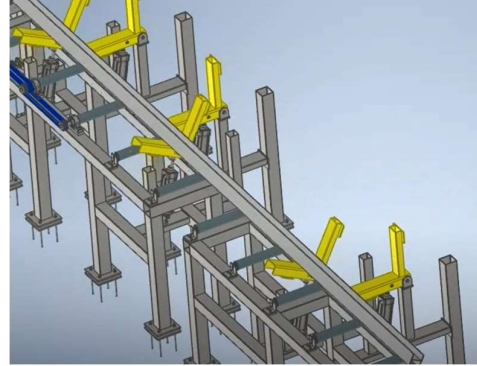


Figura 15. Brazos rotadores para sistema de volteo. Fuente: elaboración propia.

Para realizar el volteo de la viga, se utilizan seis cilindros: tres girarán la viga 90° y los otros tres complementarán el giro de 180°. Dado que hay vigas de longitud mínima y máxima, se han dispuesto los cilindros como se muestra en la figura 16. Para la viga mínima, será soportada por dos brazos, mientras que para la viga máxima se usarán los tres brazos.

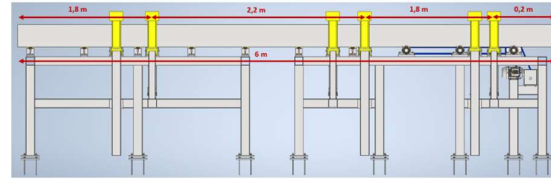


Figura 16. Distancia de separación entre brazos rotadores para sistema de volteo. Fuente: elaboración propia.

## 2.4. Cambios y ajustes.

De acuerdo a [15], es posible tener importantes reducciones en los costos de manufactura si se presta una mayor atención al diseño. Con esto en mente, se realizaron ciertos cambios que permitirán obtener un diseño con un menor número de elementos y que brindará la solución más óptima en cada movimiento y acción que realice la máquina.

A continuación, se describirán ciertos cambios que se realizaron en las distintas zonas de la línea de producción, cada uno por diferentes razones.

Inicialmente se consideraron ruedas con guías de correas G para el sistema de presión y alineación de patines. Sin embargo, se optó por utilizar guías lineales como se ilustra en la figura 17, debido a su mayor precisión y facilidad de ensamblaje en el

bastidor. El uso de ruedas habría complicado el ensamblaje de la máquina y reducido la precisión en el movimiento lineal.

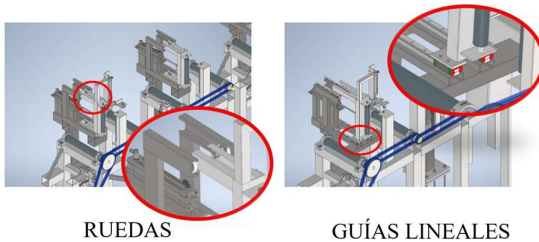


Figura 17. Cambio de diseño de ruedas a guías lineales. Fuente: elaboración propia.

Otro motivo para realizar cambios y ajustes en el diseño es el presupuesto. Es necesario optimizar al máximo los recursos. Por esta razón, inicialmente se consideraron 5 actuadores para la presión de patines, pero finalmente se decidió utilizar solo 2, como se muestra en la figura 18, ya que cumplían con la función requerida. Además, se redujo al mínimo posible el número de columnas del bastidor, lo que resultó en un bastidor con menos elementos y conexiones.

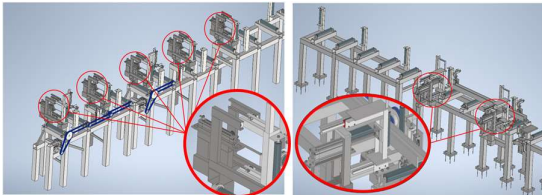


Figura 18. Cambios de diseño debido a la optimización de recursos. Fuente: elaboración propia.

Una vez diseñadas las tres zonas de la línea de ensamblaje de vigas, se observa que, al contar con suficiente espacio para la máquina, es posible automatizar el proceso y minimizar al máximo el uso de mano de obra utilizando dos zonas de soldadura en lugar de una. Esto permite que, después de salir de la primera zona de soldadura y girar la viga 180°, entre automáticamente a la segunda zona de soldadura, obteniendo así una viga completa.

### 3. Resultados

#### Zona de transporte y armado.

Luego de diseñar a detalle cada componente de esta zona, como se ilustra en la figura 19, se han obtenido cuatro mesas de rodillos. Dos de estas mesas contarán con un motor para la tracción, el cual moverá la viga, y también dispondrán de un sistema de transmisión de cadenas y catalinas. Además, contará con dos cilindros neumáticos que ayudarán a presionar los patines, cuatro cilindros que evitarán el posible volteo

de los patines, dos que elevarán el alma y una compuerta que ayudará a la nivelación de los flejes.

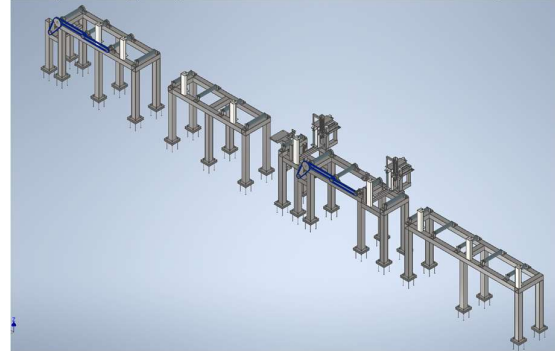


Figura 19. Resultado de la zona de transporte y armado.

#### Zona de soldadura.

Para esta zona como se observa en la figura 20, se ha obtenido una estructura con rodillos verticales y horizontales. Cuenta con dos motores conectados a los rodillos verticales que generarán la tracción de la viga a la velocidad de soldadura deseada. Además, dispone de dos cilindros neumáticos que ayudan a mantener presionada la viga y generar su movimiento, dos cilindros guiados que facilitarán la elevación del alma y dos cilindros guiados que ayudarán a posicionar las antorchas. También cuenta con dos cilindros de carrera corta para ajustar los diferentes espesores del patín.

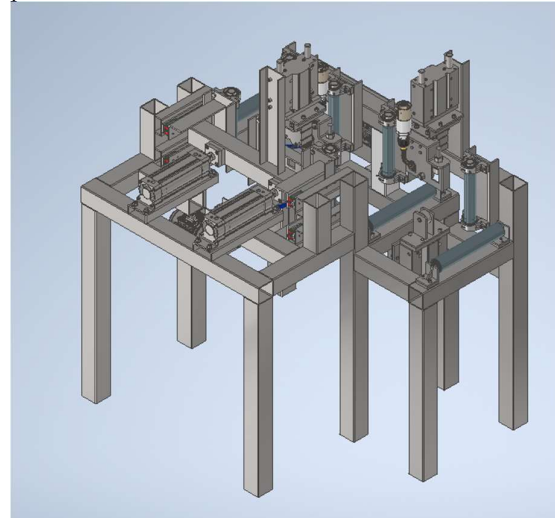


Figura 20. Resultado de la zona de soldadura.

#### Zona de post- soldadura.

En esta zona se han obtenido dos mesas de rodillos, mostradas en la figura 21. Una de ellas cuenta con un motor y un sistema de transmisión de potencia mediante cadenas y catalinas que ayudará al movimiento de la viga. A lo largo de estas mesas se



encuentran seis brazos rotadores conectados a un actuador neumático.

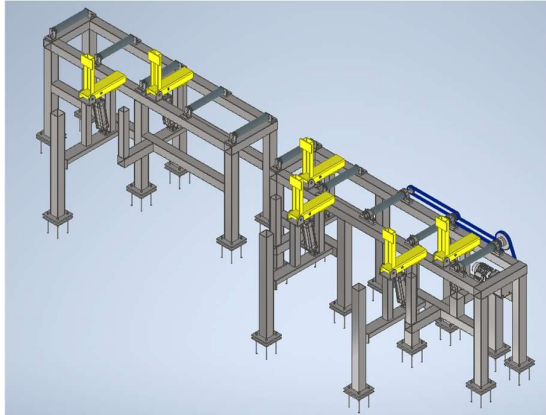


Figura 21. Resultado de la zona de post-soldadura.

Finalmente, al unir estas tres zonas se obtiene una solución integral para el sistema de ensamble de vigas tipo H, ilustrado en la figura 22. En este sistema ingresarán tres flejes y se obtendrá una viga armada y soldada. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, este sistema se puede mejorar si se dispone de suficiente espacio. Esto se logra añadiendo mesas de rodillos transportadores y una zona adicional de soldadura, como se muestra en la figura 23. Esta solución disminuye la cantidad de mano de obra necesaria en el proceso.

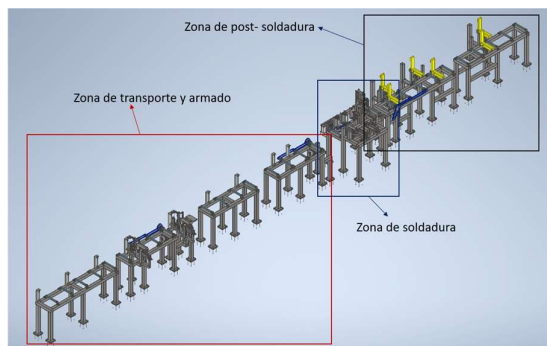


Figura 22. Solución 1 de la línea de ensamble de vigas.

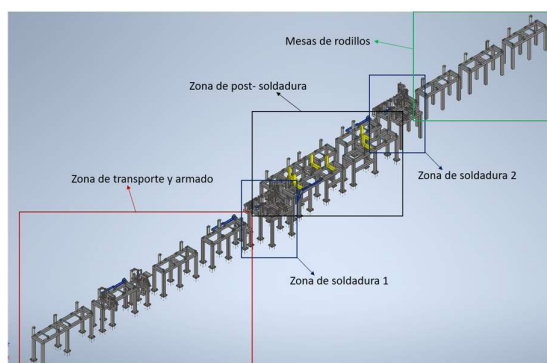


Figura 23. Solución 2 de la línea de ensamble de vigas.

#### 4. Conclusiones

- Se diseñó y modeló una máquina para armado de vigas tipo H mediante el proceso de soldadura GMAW, en la cual se puede colocar patines de longitudes de ancho variables, abarcando desde 100 mm hasta 250 mm, y espesores que varíen entre 6 mm y 12 mm. Asimismo, puede trabajar con almas de longitudes de ancho variables, abarcando desde 88 mm hasta 276 mm, con espesores que varían entre 3 mm y 10 mm.
- Se llevaron a cabo simulaciones de los bastidores que componen las zonas de transporte y armado, soldadura y post-soldadura. Se verificó su resistencia mecánica, su serviciabilidad en términos de deflexiones. Finalmente, todos estos aspectos resultaron ser adecuados para su construcción.
- Se logró obtener la mejor solución para la línea de ensamble a través del modelado 3D de las alternativas de diseño. Estos diseños conceptuales ayudan a tener una mayor claridad en la selección y, además, constituyen una base fundamental para comenzar el diseño detallado.
- El proceso de cambios y ajustes es necesario en el diseño de líneas de ensamble, ya que ayuda a obtener la solución más económica y funcional. Además, con el paso del tiempo, surgen nuevas ideas, como la indicada en la solución 2, que resultan en una línea de ensamble más automatizada y con menor necesidad de mano de obra.

#### 5. Referencias

- [1] Armijos, S.: Industria metalmeccánica ecuatoriana participa en la ejecución de grandes proyectos. Vistazo, (2022).
- [2] World Steel Association. (2024). Annual production – Steel data. Recuperado de [https://worldsteel.org/data/annual-production-steel-data/?ind=C\\_asu\\_fsp\\_pub/ECU](https://worldsteel.org/data/annual-production-steel-data/?ind=C_asu_fsp_pub/ECU)
- [3] DEUMA. (2023). *Machines for the metal working industries*. Recuperado de <https://www.deuma.co/beam-welding-machines>.
- [4] ASME. (2021). *Asme boiler and pressure vessel code section ix, welding, brazing, and fusing qualifications*. Two Park Avenue; New York, NY; 10016 USA.
- [5] Pino Solis, J. C. (2022). *Diseño de sistema electromecánico para la producción de vigas de acero en metal sur del Perú ERIL*.

- [6] Noceda Rodriguez, J. R. (2020). *Diseño de una máquina para soldadura de vigas curvas que mejore la productividad en la industria metalmecánica*.
- [7] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (1996). *Engineering design: a systematic approach (Vol. 3)*. London: Springer.
- [8] Interroll. (2023). *Catalog Conveyor rollers*. [https://www.interroll.com/fileadmin/Downloads/Catalogs/Rollers/Conveyor\\_Roller\\_Catalog\\_EN.pdf](https://www.interroll.com/fileadmin/Downloads/Catalogs/Rollers/Conveyor_Roller_Catalog_EN.pdf)
- [9] Budynas, J. K., & Nisbett, R. G. (2018). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw-Hill Education.
- [10] Jiang, W. (2019). *Analysis and design of machine elements*. Wiley.
- [11] Norton, R. L. (2011). *Diseño de máquinas, un enfoque integrado*. Pearson.
- [12] Cary, H., & Helzer, S. (2005). *Modern welding technology*. NJ: Pearson Education.
- [13] SYL, I. (2020). *Catálogo marca Kana*. Sylpanama.
- [14] FESTO. (2022). Catálogo cilindros normalizados Festo DSBC ISO 15552. Festo Latinoamérica.
- [15] Arroyo, F., & Bravo, D. (2020). El proceso del diseño industrial como herramienta de la gestión de la empresa. *Ingenio*, 3(1), 71-72.