



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**Diseño de sistema electromecánico para la producción de vigas de
acero en Metal Sur del Perú E.I.R.L.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Pino Solis, Jesus Clodoaldo ([ORCID: 0000-0001-5594-2909](https://orcid.org/0000-0001-5594-2909))

ASESORES:

Dr. Castro Anticona, Walter Miguel ([ORCID: 0000-0002-8127-4040](https://orcid.org/0000-0002-8127-4040))

Dr. Luján López, Jorge Eduardo ([ORCID: 0000-0003-1208-1242](https://orcid.org/0000-0003-1208-1242))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos.

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Innovación Tecnológica y desarrollo sostenible.

TRUJILLO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme siempre y mantenerme con buena salud hasta este momento importante en mi formación. Gracias por enseñarme que las dificultades se superan con persistencia. A mis padres, Irene Solís C. y Raúl Pino M., por su amor, determinación, motivación y apoyo incondicional. A mis familiares por su confianza en brindarme su soporte y creer en mis objetivos.

Jesús Pino Solís.

AGRADECIMIENTO

A mis asesores, por su experiencia y por guiarme en el desarrollo de esta investigación de tesis. A todos mis amigos con quienes compartí mi etapa de formación universitaria.

A la empresa METAL SUR DEL PERU E.I.R.L., por brindarme la oportunidad de realizar y desarrollar el presente trabajo de investigación de tesis.

A la Universidad César Vallejo, por mi formación integral como Ingeniero, por los conocimientos transmitidos a través de sus docentes y por hacerme partícipe de este gran número de estudiantes que buscan la superación personal.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
I. INTRODUCCIÓN.....	14
II. MARCO TEÓRICO	17
III. METODOLOGÍA.....	27
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	27
3.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN	27
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	28
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	28
3.5. PROCEDIMIENTOS.....	28
3.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS	30
3.7. ASPECTOS ÉTICOS	30
IV. RESULTADOS.....	31
4.1. ANÁLISIS CONCEPTUAL DEL SISTEMA	31
4.1.1. Valores objetivo	31
4.1.2. Estructura de funciones	33
4.1.3. Matriz morfológica	34
4.1.4. Selección de alternativa.....	35
4.2. PLANTEAMIENTO DE LA GEOMETRÍA Y PARTES DEL SISTEMA.....	38
4.2.1. Dimensiones máximas y mínimas de viga no estándar	38
4.2.2. Asignación de medidas a la mesa regulable.	40
4.2.3. Asignación de medidas del sistema de sujeción lateral.....	43

4.2.4.	Geometría y partes del sistema de armado de vigas.....	45
4.3.	CÁLCULO CINEMÁTICO Y DE RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA....	47
4.3.1.	Pre-dimensionamiento de estructura	47
4.3.2.	Cálculo de cargas en mesa fija.....	48
4.3.3.	Cálculo de cargas en mesa regulable.....	50
4.3.4.	Combinaciones de cargas	50
4.3.5.	Cálculo de reacciones y momentos	51
4.3.6.	Cálculo de esfuerzos en mesa fija	51
4.3.7.	Criterio de aceptación de estructuras	54
4.3.8.	Diseño de placa base	57
4.3.9.	Cálculo hidráulico en sistema hidráulico de mesa fija.....	59
4.3.10.	Cálculo hidráulico en sistema hidráulico de mesa regulable	61
4.3.11.	Modelo y simulación en SolidWorks	64
4.3.12.	Dimensionamiento de elementos del sistema eléctrico	68
4.4.	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	69
4.4.1.	Costos de adquisición del equipo	70
4.4.2.	Costos de funcionamiento del equipo.....	71
4.4.3.	Determinación de ingresos	71
4.4.4.	Valor actual neto y tasa interna de retorno	72
V.	DISCUSIÓN.....	74
VI.	CONCLUSIONES.....	76
VII.	RECOMENDACIONES	78
VIII.	REFERENCIAS	79
IX.	ANEXOS.....	14

Índice de tablas

Tabla 1. Cuadro comparativo de las etapas de diseño.	20
Tabla 2. Operacionalización de variables.	27
Tabla 3. Técnica e instrumento.	28
Tabla 4. Exigencias y métricas para el diseño de un sistema electromecánico para fabricación de vigas. <i>Fuente: propia</i>	31
Tabla 5. Valores objetivos para el diseño de un sistema electromecánico para fabricación de vigas. <i>Fuente: propia</i>	32
Tabla 6. Funciones y señales del sistema para armado de vigas. <i>Fuente: propia</i>	34
Tabla 7. Matriz morfológica para el diseño de un sistema de armado de vigas. <i>Fuente: propia</i>	35
Tabla 8. Matriz morfológica para el diseño de un sistema de armado de vigas. <i>Fuente: propia</i>	37
Tabla 9. Rango de operación dimensional del sistema electromecánico para armado de vigas. <i>Fuente: propia</i>	39
Tabla 10. Secciones de elementos de mesa fija. <i>Fuente: propia</i>	47
Tabla 11. Secciones de elementos de mesa regulable. <i>Fuente: propia</i>	48
Tabla 12. Fuerza para deformar la plancha del patín. <i>Fuente: propia</i>	49
Tabla 13. Cargas en mesa fija. <i>Fuente: propia</i>	50
Tabla 14. Cargas en mesa regulable. <i>Fuente: propia</i>	50
Tabla 15. Esfuerzos y factor de seguridad en mesa fija. <i>Fuente: propia</i>	56
Tabla 16. Esfuerzos y factor de seguridad en mesa regulable. <i>Fuente: propia</i> . ..	57
Tabla 17. Secciones de elementos de mesa regulable. <i>Fuente: propia</i>	60
Tabla 18. Secciones de elementos de mesa regulable. <i>Fuente: propia</i>	62
Tabla 19. Cálculo hidráulico y potencia de accionamiento. <i>Fuente: propia</i>	64
Tabla 20. Costo de suministro de materiales.	70
Tabla 21. Costo de fabricación y montaje.	70
Tabla 22. Ingreso adicional anual proyectado.	72
Tabla 23. Flujo de caja para 5 años.	73

Índice de figuras

Figura 1. Sistema de soldeo de viga móvil.	21
Figura 2. Sistema de soldeo de doble viga estática inclinada. (Waldun, 2022)....	22
Figura 3. Partes de una viga y el cordón de soldadura (Waldun, 2022).....	22
Figura 4. Ejemplo flujo de efectivo.	26
Figura 5. Ejemplo flujo de efectivo.	26
Figura 6. Diseño de investigación.	27
Figura 7. Procedimiento para estudio conceptual.	28
Figura 8. Procedimiento para definir las características técnicas.....	28
Figura 9. Procedimiento para calculo cinemático y estructural.....	29
Figura 10. Procedimiento para cálculo económico.....	29
Figura 11. Blackbox sistema de armado de vigas no estándar. Fuente: propia. ..	33
Figura 12. Estructura de funciones para sistema de armado de vigas no estándar. Fuente: propia.	33
Figura 13. Sección W27x114 y W44x285 longitud 9 metros. Fuente: propia.	38
Figura 14. Sistema soporte para alma de viga. Fuente: propia.	40
Figura 15. Diagrama de cuerpo libre para caso 1, plancha para alma de viga no estándar para 5/8” de espesor y 2300 mm de altura de viga. Fuente: propia.	41
Figura 16. Resultados de deflexión de la plancha del alma caso 1. Fuente: propia.	41
Figura 17. Diagrama de cuerpo libre para caso 2, plancha para alma de viga no estándar para 5/8” de espesor y 1476 mm de altura de viga. Fuente: propia.	42
Figura 18. Resultados de deflexión de la plancha del alma caso 2. Fuente: propia.	42
Figura 19. Diagrama de cuerpo libre para caso 3. Fuente: propia.	43
Figura 20. Resultados de deflexión de la plancha del alma caso 3. Fuente: propia.	43
Figura 21. Resultados de deflexión de la plancha del alma caso 3. Fuente: propia.	44
Figura 22. Resultados de deflexión de plancha de patín (alma). Fuente: propia..	44
Figura 23. Dimensiones mesa fija (sujeción lateral). Fuente: propia.	45
Figura 24. Dimensiones mesa regulable. Fuente: propia.	46

Figura 31. Diagrama de cuerpo libre patín para cálculo de fuerza para enderezar. Fuente: propia.	49
Figura 56. Modelo en SolidWorks mesa fija.	64
Figura 57. Modelo en SolidWorks mesa regulable.	65
Figura 58. Esfuerzo de Von Mises en mesa fija en SolidWorks.	65
Figura 59. Esfuerzo de Von Mises en mesa fija SAP 2000.	66
Figura 60. Deformación de mesa fija en SolidWorks.	66
Figura 61. Esfuerzo de Von Mises en mesa regulable en SolidWorks.	67
Figura 62. Esfuerzo de Von Mises en mesa regulable SAP 2000.	67
Figura 63. Deformación de mesa regulable en SolidWorks.	68
Figura 58. Diagrama de cuerpo libre patín para cálculo de fuerza para enderezar. Fuente: propia.	15
Figura 32. Reacciones en mesa fija combinación 1. Fuente: propia.	19
Figura 33. Fuerza normal en mesa fija combinación 1. Fuente: propia.	19
Figura 34. Momento flector en mesa fija combinación 1. Fuente: propia.	20
Figura 35. Fuerza cortante en mesa fija combinación 1. Fuente: propia.	20
Figura 36. Reacciones en mesa fija combinación 2. Fuente: propia.	20
Figura 37. Fuerza normal en mesa fija combinación 2. Fuente: propia.	21
Figura 38. Momento flector en mesa fija combinación 2. Fuente: propia.	21
Figura 39. Cortante en mesa fija combinación 2. Fuente: propia.	21
Figura 40. Reacciones en mesa fija combinación 3. Fuente: propia.	22
Figura 41. Fuerza normal en mesa fija combinación 3. Fuente: propia.	22
Figura 42. Momento flector en mesa fija combinación 3. Fuente: propia.	22
Figura 43. Cortante en mesa fija combinación 3. Fuente: propia.	23
Figura 44. Reacciones en mesa regulable combinación 1. Fuente: propia.	23
Figura 45. Fuerza normal en mesa regulable combinación 1. Fuente: propia.	24
Figura 46. Momento flector en mesa regulable combinación 1. Fuente: propia. ...	24
Figura 47. Fuerza cortante en mesa regulable combinación 1. Fuente: propia.	24
Figura 48. Reacciones en mesa regulable combinación 2. Fuente: propia.	25
Figura 49. Fuerza normal en mesa regulable combinación 2. Fuente: propia.	25
Figura 50. Momento flector en mesa regulable combinación 2. Fuente: propia. ...	26
Figura 51. Cortante en mesa regulable combinación 2. Fuente: propia.	26
Figura 52. Reacciones en mesa regulable combinación 3. Fuente: propia.	27

Figura 53. Fuerza normal en mesa regulable combinación 3. Fuente: propia.....	27
Figura 54. Momento flector en mesa regulable combinación 3. Fuente: propia ...	28
Figura 55. Cortante en mesa fija combinación 3. Fuente: propia	28

Resumen

En este informe se muestra el diseño de un sistema electromecánico para fabricación de vigas de acero. El estudio se centró en el sistema de sujeción de las planchas de la viga no estándar para que el armado de las vigas se realice con mayor facilidad y rapidez, teniendo un impacto positivo en la producción de vigas.

En el primer capítulo se describe la necesidad de contar con un sistema electromecánico para fabricación de vigas y se determinaron los objetivos específicos agrupando el trabajo en abstracción conceptual, geometría, cálculo de resistencia y análisis económico. En el segundo capítulo se estudiaron los trabajos previos y los conceptos que permitieron diseñar el sistema de fabricación de vigas de manera sintetizada. En el capítulo 3, se identificaron las variables y se determinó el procedimiento para implementar la solución. En el cuarto capítulo se inició con el análisis de alternativas de solución considerando métricas como criterios de evaluación para obtener la solución óptima. Plantear valores objetivos permitieron determinar las características técnicas requeridas en el diseño. En la segunda parte de este capítulo, se determinó la capacidad geométrica del sistema, mediante la determinación de la necesidad de fabricación de vigas con un valor máximo y mínimo. Las partes del sistema se determinaron en base a la solución tecnológica para cada función. En la tercera parte, se concentran los resultados de los cálculos para garantizar la integridad y funcionamiento del sistema. Fue aquí donde se calculó la cinemática del sistema en el cálculo hidráulico, se determinaron las cargas, combinaciones de carga, esfuerzos y factores de seguridad para criterio ASD del AISC. En la última parte del capítulo 4 se evaluó el beneficio económico proyectando el rendimiento del sistema.

Finalmente, se tiene los capítulos finales donde se resuelve la importancia de la metodología aplicada en el diseño del sistema y se comparan resultados con los trabajos previos.

Palabras clave: Vigas, sistema y diseño.

Abstract

This report shows the design of an electromechanical system for manufacturing steel beams. The study focused on the fastening system of the non-standard beam plates so that the reinforcement of the beams is carried out more easily and quickly, having a positive impact on the production of beams.

The first chapter describes the need for an electromechanical system for the manufacture of beams and the specific objectives were determined by grouping the work in conceptual abstraction, geometry, resistance calculation and economic analysis. In the second chapter, the previous works and the concepts that allowed the design of the beam manufacturing system in a synthesized way were studied. In chapter 3, the variables were identified and the procedure to implement the solution was determined. The fourth chapter began with the analysis of solution alternatives considering metrics as evaluation criteria to obtain the optimal solution. Setting objective values allowed determining the technical characteristics required in the design. In the second part of this chapter, the geometric capacity of the system was determined by determining the need to manufacture beams with a maximum and minimum value. The parts of the system were determined based on the technological solution for each function. In the third part, the results of the calculations are concentrated to guarantee the integrity and operation of the system. It was here that the kinematics of the system was calculated in the hydraulic calculation, the loads, load combinations, efforts and safety factors for the AISC ASD criteria were determined. In the last part of Chapter 4, the economic benefit was evaluated by projecting the performance of the system.

Finally, there are the final chapters where the importance of the methodology applied in the design of the system is resolved and results are compared with previous works.

Keywords: Beams, system and design.

I. INTRODUCCIÓN

Las exigencias en el sector metalmecánico van aumentando cada año y este crecimiento es proporcional a las necesidades de los seres humanos y su actividad en las industrias. Por ello, se viene mejorando constantemente en materia de funcionalidad, seguridad y economía; desde el primer proceso de Henry Bessemer en 1890, para la producción de acero de uso estructural en grandes cantidades, hasta la actualidad. (McCormac & Csernak, 2019).

A nivel global se atravesó un fuerte descenso económico, especialmente en EE. UU. y México, debido a la pandemia (Visionresearchreports, 2022). Esto generó un ritmo de inflación que se pronostica disminuirá durante el 2022, para muchos productos como el acero (Thompson, 2022). En Brasil se fabrican este tipo de equipos para trabajar vigas no estándar para uso en puentes y en remolque de camiones o camas bajas. Con dicho equipo en algunos casos solo asegura la carga y en otros realiza el soldeo de manera automatizada con procesos MIG/MAG o SAW de perfiles y vigas de sección variable o constante (Motofil, 2022).

En Perú, en una encuesta realizada en el 2021, el 56% de los empresarios señalaron que su compañía se encontraba operando con normalidad, 38% estaban operando parcialmente y 6% se encontraba paralizada totalmente. Asimismo, se proyectó que las empresas metalmecánicas restaurarían su nivel de producción pre pandemia a inicios del 2022 (Sociedad Nacional de Industrias, 2021). La industria nacional, viene experimentando una recuperación que involucra el requerimiento de elementos estructurales como perfiles laminados y planchas, etc.

En la actualidad, algunos perfiles laminados son fabricados en Perú, sin embargo, la gran mayoría, entre ellas, las vigas I, HP y W son fabricadas en países con economías establecidas y que han desarrollado tecnología para la producción de estos elementos estructurales. Sin embargo, hay aplicaciones en las que se necesitan vigas fabricadas a partir de placas, por ejemplo, en el caso de los puentes donde las vigas usadas en este tipo de estructuras no son estandarizadas; estas se dimensionan según el AISC 360-16 y AASHTO y usualmente no coinciden con las dimensiones de las vigas del manual del acero. Otro caso es el diseño de pórticos de sección variable que se fabrican a partir de planchas. Las empresas

frente a esta situación, proceden a diseñar y fabricar las vigas no estándar y en esta labor, no siempre se respeta o se utiliza una norma para garantizar el correcto funcionamiento de la viga en servicio. Asimismo, se presenta un aumento considerable del costo de una estructura cuando se usan vigas no estándar.

Las empresas metal-mecánicas se ven obligadas a mejorar sus procesos para poder ser competitivos, más rentables, eficientes en todos los procesos de fabricación y disminuir los tiempos de entrega, cumplimiento con las normas y estándares de calidad, fechas de entrega, tratos pactados, para satisfacción del cliente (Ramos, 2017). Algunas de las empresas en la región La Libertad no cuentan con requisitos técnicos para la fabricación de vigas y no son viables para estructuras de material base de acero con uniones soldadas que se rigen a procedimientos de soldadura, material de aporte, detalles de uniones soldados, sin preparación de básica de materiales y montaje, sin calificación de soldadores, sin personal apto para realizar uniones soldadas y entre otros requisitos técnico que describe la AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS D1.1, 2020).

Metal Sur del Perú, es una empresa que empezó sus operaciones en el año 2007, enfocada a dar servicios para la industria del sector metal-mecánico en las operaciones industriales y proyectos de construcción, fabricación y montaje de estructuras en acero. Metal Sur ha tenido en cuenta desde sus inicios optar por mejorar continuamente la calidad, seguridad e innovación para la ingeniería y fabricación en la industria. considerando el crecimiento del sector, la empresa prevé la necesidad de buscar nuevas mejoras para la fabricación de vigas en sus diferentes usos dentro del sector minero, industrial, transporte y construcción. En la actualidad, se carece de un sistema para la fabricación de vigas, para mejorar la calidad del producto terminado y para aumentar la cantidad de producción; lo cual permitiría disminuir precios y entregar oportunamente el servicio.

De tal sentido se define el problema, ¿Cómo incrementar la capacidad de producción de vigas de acero mediante el diseño de un sistema electromecánico en la empresa Metal Sur del Perú?

El diseño de un sistema electromecánico de fabricación de vigas es importante, porque: (1) su uso permitirá mejorar la calidad y aumentar la producción de las vigas

no estándar de acero para uso estructural, (2) en términos de seguridad y salud ocupacional, los operarios no se expondrán directamente a la radiación y peligros asociados a la soldadura, (3) el proyecto de ejecutarse exigirá una inversión de dinero pero el equipo al aumentar la capacidad de producción permitirá atender más requerimientos y a minorar sus gastos generales.

Se da solución al problema orientando los esfuerzos a los siguientes objetivos, en general se busca diseñar un sistema electromecánico para fabricación de vigas de acero para incrementar la capacidad de producción de Metal Sur del Perú. En base a este objetivo principal se plantearon los siguientes objetivos específicos: (1) Analizar alternativas de solución a nivel conceptual del sistema electromecánico de fabricación de vigas, (2) plantear las dimensiones y las partes del sistema electromecánico para fabricación de vigas, (3) determinar la cinemática y la sección de los elementos constructivos del sistema de fabricación de vigas mediante análisis ASD y modelado CAD-CAE en SolidWorks y (4) realizar análisis económico de la implementación del sistema de fabricación de vigas: VAN y TIR.

II. MARCO TEÓRICO

Los programas de diseño son muy importantes al momento de desarrollar el diseño final y también para las iteraciones. Plasencia y Rivera (2020), realizaron una investigación en Ecuador con el objetivo de Diseñar y simular las operaciones de un sistema de ensamble de vigas IPE. La muestra que tuvo fue el proceso de ensamble de vigas tipo IPE en la empresa Saurus Ecuador Cia Ltda. Dicha investigación fue de tipo experimental, el autor utilizó el diseño conceptual, diagramas funcionales y el método del incremento de la función de calidad QFD (Quality Function Deployment), para la ingeniería es el método de asegurar las necesidades y requerimientos del cliente, utilizaron el modelado de elementos finitos y simulación con el programa ANSYS Workbench. Los autores concluyeron teniendo la base en las fuerzas, se puede determinar los esfuerzos actuantes para los puntos críticos de los componentes del sistema los cuales, para determinar las dimensiones mínimas requeridas, utilizando teorías básicas de diseño estático o a fatiga de la mecánica de materiales, según el caso; así como los accesorios: motor, cilindro hidráulico para presión del alma, polipasto para el pórtico móvil, rodamientos, etc

La automatización de procesos ha tomado importancia con los avances en tecnología electrónica para el control en la industria, Tuomas Skriko y otros (2022) hicieron una descripción general de la producción digitalizada de estructuras de acero soldadas en base a estudio y análisis conceptual. Se concluyó que la producción digitalizada de manera adecuada de considerar el proceso completo, incluyendo en ello la selección del material, el diseño de resistencia y fabricación, operaciones, procedimientos y seguimiento del producto final. Buscaron innovar mediante un sistema de producción digitalizado basado en procesamiento de datos principalmente en soldadura.

Noceda Rodríguez (2020), diseñó una máquina para soldeo de vigas curvas que mejore la productividad en la industria metalmecánica. En la investigación se inició con el cálculo de esfuerzos mediante Autodesk inventor, donde se determinó también la deformación máxima de 4 mm de los elementos constructivos de la máquina y un esfuerzo normal máximo de 77.53 MPa. El sistema de accionamiento utilizó un motor de 1.5 Hp. El diámetro del vástago obtenido por la fórmula de Euler

para columnas esbeltas dio un valor de 23 mm. Las mejoras obtenidas se midieron por la tasa de deposición, igual a 54.8%, factor de operación con un 27% y la eficiencia de deposición con un 20%.

La soldadura automatizada es un campo explorado con mucha frecuencia en países como China, ya que su desarrollo industrial se lo debe a la automatización de procesos. Wu Xinbao y otros, presentaron una patente actualmente vigente en el 2022, para un sistema de soldeo automático para línea de producción. En su patente concentró esfuerzos para desarrollar el sistema de soldeo, mas no el sistema de sujeción, parte importante en la fabricación de vigas. La patente incluye el ensamblaje del marco de la puerta, columnas, travesaño, riel, escaleras de acceso, plataforma para operario, etc.

La productividad del soldeo empieza desde la preparación de la junta, por ello Barraza (2017), realizó el diseño de una máquina para el posicionamiento en el proceso de soldadura de vigas y columnas de acero. La muestra que tuvo fue el proceso de unión de vigas en la empresa Metal S.A., esta investigación fue experimental, el autor utilizó el diseño conceptual donde se establecen el tipo y magnitud de los esfuerzos aplicados y la geometría entre otras variables. Los autores consideran que el diseño de este equipo, es un proceso de mejora continua, hasta lograr una producción más alta y eficiente a la que normalmente se trabaja. Asimismo, se puede disminuir el riesgo del personal en la operación del trabajo. Finalmente, en su análisis de costo beneficio se comprobó que el proyecto es factible.

Las empresas metalmecánicas requieren aumentar sus ventajas frente a la competencia, por ello Basuri y Bolaños (2016), en la investigación plantearon la implementación de una maquina armadora y enderezadora de perfiles I de acero. Esta investigación fue experimental, los autores efectuaron el diseño conceptual en el cual se determinó el diagrama funcional, los siete módulos de la máquina y realizaron la selección de alternativas para poder obtener una solución final. Los módulos, fueron: el bastidor, el elemento de presión para fijar de alma, centrador de patín, enderezador, soldadora y motriz. Para los 5 primeros módulos se emplearon 3 alternativas y 4 criterios para las matrices de selección, mediante las cuales determinaron la alternativa más conveniente. Los elementos geométricos

base que son en los que se divide el modelo para realizar el cálculo mediante el método de análisis de elementos finitos (FEA), para el modelado utilizaron el programa SolidWorks Simulation 2014. En el diseño de la maquina se implementaron elementos formados por la unión de placas y rigidizadores para aumentar la inercia, en lugar de utilizar materiales de gran espesor y robustos que incrementan los costos de la máquina. Los autores concluyen que el diseño se simulo la maquina armadora y enderezadora de perfiles I de acero para patines de dimensiones variables desde 100 mm hasta 400 mm de ancho y hasta 20 mm de espesor, y para almas de dimensiones variables desde 200 mm hasta 700 mm de alto y hasta 20 mm de ancho, en las cual el avance del perfil es a una velocidad de 0.35 m/min.

El **sustento teórico** para el diseño del sistema electromecánico para aumentar la capacidad de fabricación de vigas, se muestra de manera ordenada para cada objetivo de esta investigación.

El **diseño** requiere de un conocimiento amplio de la necesidad, las tecnologías existentes y de las investigaciones que abren paso al desarrollo de sistemas óptimos. Los inversionistas de las empresas buscan desarrollar un producto de manera exitosa y con rapidez; esto involucra aspectos relacionados al producto final y al proceso de fabricación del mismo (Ulrich & Eppinger, 2013). La capacidad de desarrollar y producir productos representa una gran ventaja competitiva que las empresas deben tomar en consideración.

El diseño no solo se trata de desarrollar algo nuevo, también consiste en encontrar mejoras de un diseño existente. La norma alemana VDI 2221 y metodologías como las de Ulrich y Eppinger tienen un enfoque de mejora mediante la optimización. El diseño según Childs inicia con el reconocimiento de la necesidad, definir los aspectos del problema, sintetizar la idea del producto, analizar y optimizar, evaluar y finalmente ofrecerla al mercado (Childs, 2004). En la tabla 1, se muestra la comparación de las etapas del diseño de VDI 2221, estándar, enfoque de Child y el enfoque de Ulrich y Eppinger.

La metodología de Ulrich y Eppinger plantea un estudio previo de los productos actuales a través del benchmarking, tomando como referencia sus características

para plantear valores objetivos para cada métrica; esto es importante porque de esa manera se proyecta el diseño como una mejora (Ulrich & Eppinger, 2013).

Las tres metodologías, involucran un estudio conceptual del diseño, esto es muy importante, porque se evalúan alternativas a nivel cualitativo. La conceptualización del diseño es comprender la situación a corregir o mejorar, identificar las necesidades y plantear soluciones. Se realiza a través de tres pasos: analizar, sintetizar y evaluar. El análisis abarca la comprensión del problema y definición de las exigencias que involucran dicho problema. La síntesis consiste en evaluar de manera general el comportamiento que deben tener las alternativas de solución; a través de una caja negra con entradas y salidas incluyendo las deseadas primarias, deseadas secundarias y no deseadas (GARCIA, 2019).

Tabla 1.
Cuadro comparativo de las etapas de diseño.

1	Estándar	VDI 2221	Ulrich y Eppinger	Childs
1	Planeación estratégica	Especificación	Identificar necesidades	Reconocimiento de la necesidad
2	Identificación de necesidades	Estructura funcional	Especificar valores objetivo	Definición del problema
3	Programación del proyecto	Solución principal	Generación de conceptos del producto	Síntesis
4	Diseño conceptual	Estructura modular	Selección del concepto del producto	Análisis y optimización
5	Diseño realizacional	Diseño preliminar	Probar conceptos del producto	Evaluación
6	Diseño de detalle	Diseño definitivo	Establecer valores finales	Comercialización
7	Prototipo	Documentos del producto	Planear desarrollo descendente.	
8	Producción			

La determinación de la **geometría** del sistema para la fabricación de vigas, se debe conocer las etapas de un sistema de fabricación en general, estos son: Habilitado,

armado, soldeo, limpieza e inspección. Estas etapas se pueden hacer de manera manual, semi automática y automática.

La mejora en el soldeo de vigas no se centra precisamente en la actividad de soldeo, sino también en la preparación de la junta. Esto es importante, sobre todo, en vigas no estándar de gran tamaño debido a la dificultad de maniobra de las planchas. Actualmente, se vienen desarrollando equipos para satisfacer esta demanda, sin embargo, por lo mismo de encontrarse a nivel de desarrollo, permite indagar en variedad de tecnologías para mejorar estos productos. En este trabajo se centra en el diseño de un sistema que facilite la fabricación de vigas no estándar.

Se pueden clasificar estos equipos, por el tratamiento de la viga en la operación de soldeo. De este modo se tienen, dos tipos de sistemas: de viga móvil y de viga estática.

Los sistemas de soldeo de viga móvil, consta de las siguientes etapas, posicionamiento, aseguramiento de la carga, traslado de la carga a la torre de soldeo, extracción de la carga, realimentación, rotación y se repite el proceso para el soldeo del patín superior. Asimismo, se succionan los gases y partículas residuales. En la figura 1, se muestra una máquina para soldeo de carga móvil.



Figura 1. Sistema de soldeo de viga móvil.

El sistema soldeo de viga estática, consiste en el soldeo de la carga, mediante un equipo de soldeo que se traslada para realizar el soldeo. Esto ideal para vigas de

gran tamaño. Estos equipos se pueden clasificar a su vez, por lo posición de la viga, estos son: sistema de carga estática con viga horizontal, inclinada y vertical. En la figura 2, se muestra un sistema de soldeo con carga estática en posición inclinada.



Figura 2. Sistema de soldeo de doble viga estática inclinada. (Waldun, 2022)

La geometría de la máquina dependerá de cual tipo de sistema es mejor o proponer un sistema nuevo no incluido en esta clasificación. Las partes del sistema obedecen al análisis de funciones y los valores objetivos. En la figura 3 se muestra un esquema con las partes de una viga. Las vigas H o W son elementos estructurales con forma de una I o H, se componen por un patín superior, una placa del alma y un patín inferior (Waldun, 2022).

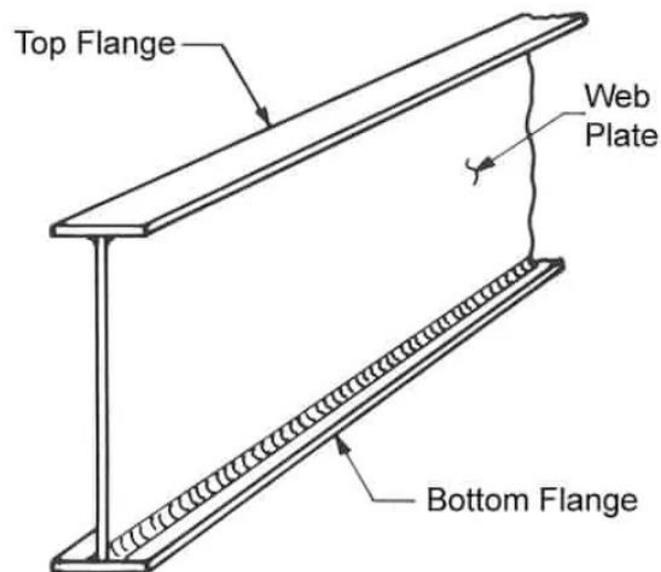


Figura 3. Partes de una viga y el cordón de soldadura (Waldun, 2022)

La **cinemática** y la **sección** de los elementos constructivos del sistema para fabricación de vigas, debe tomar en cuenta las normas y estándares nacionales e internacionales, así como también conocer las consecuencias de las fallas por mala práctica de soldadura dispuesta en la norma AWS.

Por motivo que la máquina es usualmente usada para soldeo de vigas no estándar para uso en puentes, entonces es necesario conocer entre que valores oscila. Definir un valor exacto involucra un cálculo de diseño de puentes, sin embargo, como valor referencial se consideran diseños existentes. En Mérida se diseñó un puente de arco superior atirantado, donde se requirió un perfil W de una altura de 1.70 metros de altura y ancho de patín de 0.80 m (Castro Valero & Sarmiento Carrasquero, 2020). Es necesario considerar factores el agrietamiento por fatiga, ya que es uno de los fenómenos de mayor relevancia que impactan en el rendimiento de las estructuras y la integridad de las vigas en los puentes; se debe tomar en consideración lo indicado en las especificaciones de diseño de puentes AASHTO LRFD (Abedin, y otros, 2022). La soldadura depende del material base y de la resistencia del electrodo, por este motivo se realiza el cálculo de la soldadura para contar con las dimensiones correctas, además se debe evitar exponer al material base a un exceso de ataque de calor. La American Welding Society (AWS), reúne experiencias y estudios acerca del proceso de soldeo que en función el material base, indica los lineamientos para una soldadura de buena calidad. La clasificación de electrodos y sus propiedades se encuentran en AWS 5.18. AWS 3.0 detalla los términos y definiciones en soldadura. AWS D1.1 entrega los lineamientos para soldadura estructuras en acero al carbono y la D1.6 para soldadura de estructuras en acero inoxidable.

Los elementos que conforman el sistema electromecánico deben ser diseñados para soportar las cargas. Antes de ello, se debe verificar la tecnología disponible del fabricante, disponibilidad de insumos, componentes que puedan incorporarse existentes en el mercado, costo del producto terminado, transporte, etc. En el proceso del diseño se debe tener claro 3 definiciones, estos son: Funciones, parámetros de diseño y criterios de evaluación (Mott, 2006). Esto permitirá conocer las cargas a las que estará expuesto la máquina que se está diseñando.

El cálculo inicia con la determinación de las cargas y sus combinaciones, luego se plantean las ecuaciones de equilibrio. Se seleccionan secciones y espesores de cada elemento que por experiencia es posible que no se tenga que iterar muchas veces, cuando se tiene conocimiento al respecto. Es necesario orientar el estudio a un panorama de esfuerzo-resistencia en un punto crítico (controlado), se debe buscar resistencia en la geometría y condición de uso (Shigley, 2008). El cálculo estructural se inicia por el planteamiento de un diagrama de cuerpo libre, enseguida se plantean las ecuaciones de equilibrio.

$$\sum F_x = 0; \sum F_y = 0; \sum F_z = 0$$

La respuesta de los materiales frente a una carga determinada, se conoce como esfuerzo y este puede ser un esfuerzo normal o un esfuerzo cortante. Se debe considerar que estos pueden coexistir en un punto determinado de un elemento.

Esfuerzo normal por carga axial, actúa como se muestra en la figura 4. Su distribución es teóricamente uniforme, sin embargo, en la realidad, esta condición del material frente a una carga es no uniforme con valores mayores en el eje del elemento. El esfuerzo puede ser de compresión o de tracción; en cualquiera de los casos, la fórmula para calcularlo, es como se indica (Pytel & Kiusalaas, 2012). El esfuerzo normal por momento flector, actúa como se muestra en la figura 5. Su distribución es teóricamente lineal, con su valor máximo en el punto más alejado del eje neutro. El esfuerzo cortante, se puede dar por fuerza cortante y su valor máximo se encuentra en el eje centroidal. También se da por momento torsor, en este caso, el máximo esfuerzo se encuentra en el punto más alejado del eje centroidal. En la figura 6 se muestra la distribución de esfuerzos para esfuerzo cortante por momento torsor (Gere & Goodno, 2009).

$$\sigma_{i,j} = \frac{F}{A} + \frac{Mc}{I}$$

$$\tau_{i,j} = \frac{VQ}{It}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_{oct} = \frac{1}{3} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2}$$

Los criterios de aceptación se dan por 3 modos, por criterio de falla por máxima deformación de Von Mises, por pandeo local, por pandeo torsional y pandeo flexional. De acuerdo, a los máximos valores obtenidos, se acepta o rechaza una sección de un perfil.

El uso de herramientas para modelado y análisis por elementos finitos (FEM) requieren de cierto nivel de precisión para obtener resultados lo más acercados posible a la realidad. Actualmente, esto se viene aplicado también al estudio de la actividad de soldeo, con ello se puede predecir la deformación y propiedades mecánicas luego de exponerse a la soldadura en comparación a su estado inicial (García, Rodríguez, Zubiri, Piccini, & Setien, 2022).

Una vez se dimensionan y seleccionan los materiales para un equipo o estructura de interés, se deben realizar los planos de fabricación para poder ejecutar el trabajo y materializar por ende el proyecto. Un producto terminado se debe presentar en un dibujo de conjunto donde cada elemento del producto también tenga un dibujo de detalle para propósitos de fabricación con precisión, esto se plantea en lo que se conoce como planos. El dibujo en ingeniería es necesario para una correcta comunicación entre el encargado del diseño y del técnico o ingeniero a cargo de la fabricación del producto. (Krar, Gill, & Smid, 2009)

Los proyectos se deben **evaluar económicamente**, para determinar la rentabilidad de ponerlo en marcha. Para ello, se deben calcular los costos, el beneficio y el retorno de la inversión. El costo es aquello a lo que se renuncia para obtener algo (Mankiw, 2017). Los costos se calculan considerando, el proceso de diseño, planificación, suministro, fabricación y montaje. El beneficio es el retorno de la inversión menos el costo de inversión.

El diagrama de flujo de efectivo es necesario para visualizar como fluyen los ingresos y egresos (Baca Urbina, 2010). En la figura 9 se muestra un ejemplo de flujo de efectivo.

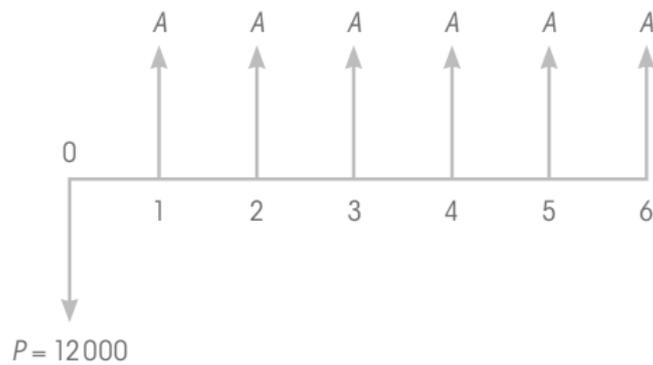


Figura 4. Ejemplo flujo de efectivo.

El valor presente neto, es el valor equivalente de cantidades monetarias del futuro en el presente. Esta acción involucra una tasa de descuento, por lo cual se le conoce como flujo descontado.

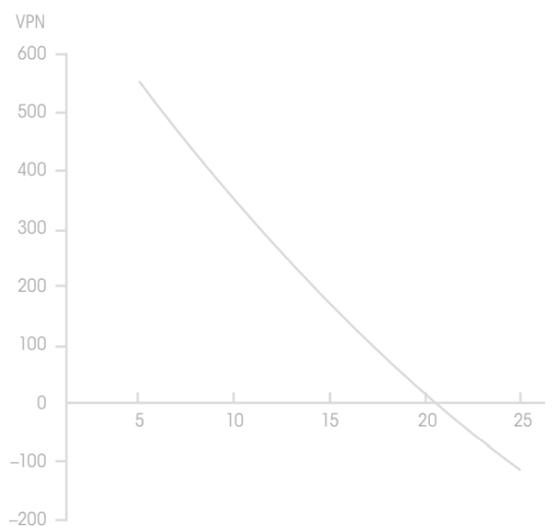


Figura 5. Ejemplo flujo de efectivo.

La tasa interna de rendimiento es el indicador de la ganancia anual de la inversión. La TIR es la tasa de descuento que hace la VPN igual a 0.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación: Aplicada por que aborda la solución de un problema mediante los conocimientos actuales sobre el tema de fabricación de vigas.

Diseño de investigación: transversal, descriptivo no experimental. No hay manipulación de las variables y el estudio se realiza en un momento determinado en base a la necesidad de mejorar la capacidad de producción de vigas.

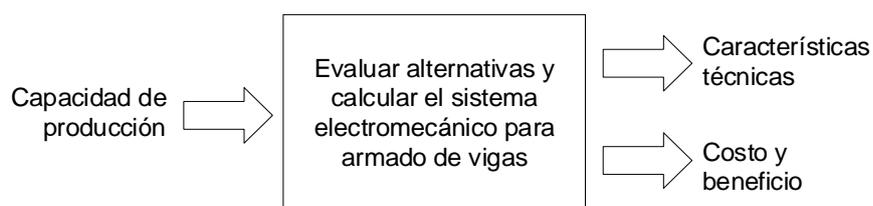


Figura 6. Diseño de investigación.

3.2. Variables y Operacionalización

Las variables dependientes son: las características técnicas del sistema electromecánico para armado de vigas. Las variables independientes son: Capacidad de vigas posicionadas para fabricación.

Tabla 2.

Operacionalización de variables.

variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	indicador	Escala de medición
Sistema electromecánico de vigas de acero.	V.I	Es un equipo que sirve para sujetar de manera segura las planchas de una viga no estándar para su fabricación a una capacidad requerida. La capacidad es la tasa de producción en un proceso determinado (Montes Flores, 2014) Las características técnicas del sistema se describen a través de métricas. Las métricas sirven para asignar valores objetivos en el diseño de productos. (Ulrich & Eppinger, 2013)	Es un equipo que permite la fabricación de una cantidad de vigas por jornada según las especificaciones de funcionamiento del equipo.	Cantidad de vigas	Vigas/día	Razón.
				Tiempo de fabricación de vigas	Tiempo con el sistema / tiempo sin el sistema	< 1
				Horas hombres	HH con el sistema/ HH sin el sistema	< 1
				Geometría	Longitud	12 metros
				Mecanismo	Factor de servicio	> 1.25
				Estructura	Factor de seguridad	> 1.67

3.3. Población, muestra y muestreo

Población: 10 máquinas herramientas del área de producción de la empresa Metal Sur del Perú.

Muestra: 1 máquina herramienta del área de producción para sujeción de vigas no estándar para soldeo en la empresa Metal Sur del Perú.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 3.

Técnica e instrumento.

Técnica	Instrumento
Análisis documental	Hojas técnicas y planos.

3.5. Procedimientos

En la presente investigación se planteó la siguiente propuesta de solución basada en las metodologías del diseño expuestas en el marco teórico.

Primero, se evaluaron las métricas y los valores objetivo del equipo para armado de planchas para la fabricación de vigas. Se estudió la estructura de funciones y las alternativas tecnológicas para sostener cada función. Se evaluaron las alternativas y se propone un bosquejo de la máquina.

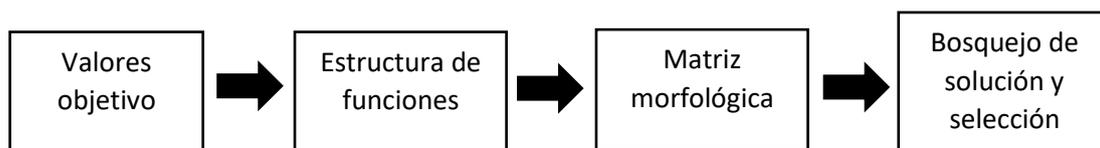


Figura 7. Procedimiento para estudio conceptual.

Segundo, se procedió con el planteamiento de dimensiones según los valores propuestos en las métricas. En la figura 13 se muestra un esquema del procedimiento para este objetivo.

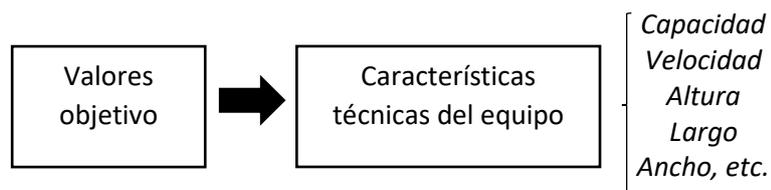


Figura 8. Procedimiento para definir las características técnicas.

Tercero se calculó la cinemática de los mecanismos para el sistema de posicionamiento de planchas para la fabricación de vigas. En esta etapa se consideró la geometría y las limitaciones mecánicas y de seguridad para realizar el proceso en el menor tiempo posible. Se calcularon las cargas, reacciones y esfuerzos de los elementos constructivos del sistema.

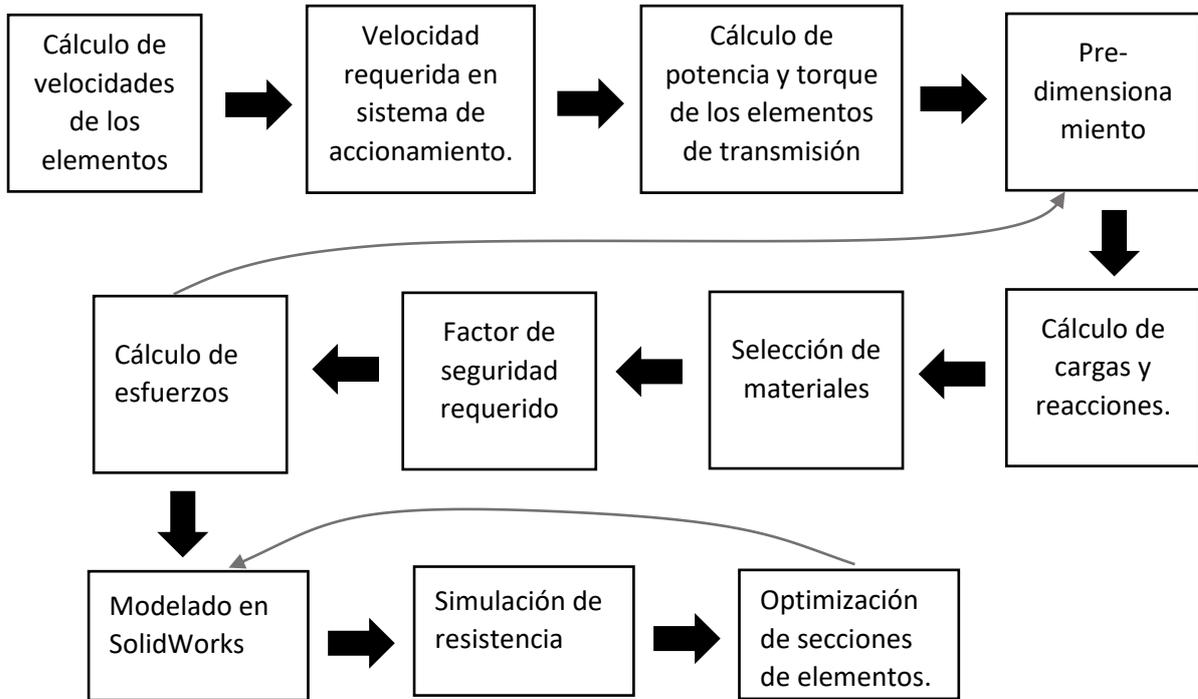


Figura 9. Procedimiento para cálculo cinemático y estructural.

Por último, se realizó el cálculo de los costos para la fabricación y montaje del equipo. Se calculan el aumento de los ingresos por el aumento de la capacidad de producción y finalmente se evalúan los indicadores VAN y TIR, para definir la rentabilidad del proyecto. En la figura 15 se muestra el procedimiento propuesto para la determinación de la rentabilidad del proyecto.

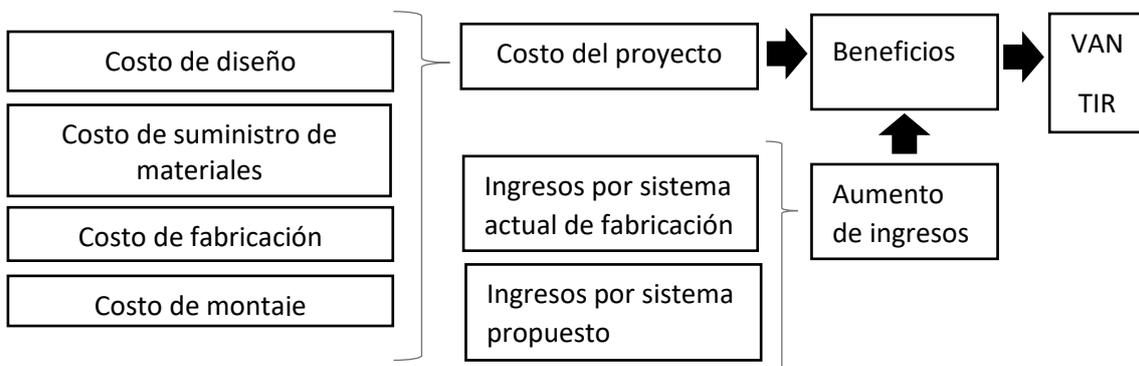


Figura 10. Procedimiento para cálculo económico.

3.6. Métodos de análisis de Datos

Se realizó mediante el método analítico-sintético, debido a que se descompondrá la búsqueda de la mejor solución en partes para analizarlas de manera individual y luego se reunirá para obtener el sistema completo de armado de planchas para la fabricación de vigas de acero.

Los datos recogidos por el análisis documental se organizaron de acuerdo con la estructura de funciones que resulta del método analítico, se evalúa de manera cualitativa diferentes tecnologías para cada función y finalmente se sintetizan alternativas de solución que luego se califican y selecciona la mejor opción.

Se utilizó software de diseño SolidWorks y SAP 2000 para corroborar resultados y revisar las zonas activas de tensión para descartar singularidad en el programa SolidWorks.

3.7. Aspectos éticos

La información expuesta en este documento es correctamente citada y expone el valor aportado por el autor a la comunidad de ingenieros, con ética y respeto por el medio ambiente.

IV. RESULTADOS

4.1. Análisis conceptual del sistema

4.1.1. Valores objetivo

Se plantearon 21 métricas en base a las necesidades observadas en la fabricación de vigas. En la tabla 4 se muestran las métricas y el grado de importancia de las exigencias para el diseño del sistema.

Tabla 4.

Exigencias y métricas para el diseño de un sistema electromecánico para fabricación de vigas.

Fuente: propia.

Ítem	Exigencias	Importancia	Métricas		
1	Armado de vigas de acero	5	Función		
2	Armado de vigas en corto tiempo	4	Velocidad	Tiempo	
3	Precisión de armado de vigas	5	Tolerancia		
4	Seguridad de operación	5	Seguridad		
5	Poco espacio ocupado	2	Largo	ancho	altura
6	Bajo consumo de energía	3	Potencia	Fuerza	
7	Estructura estable	4	Estabilidad		
8	Estructura rígida	4	Rigidez		
9	Estructura resistente	4	Resistencia		
10	De fácil fabricación	2	Fabricación	Peso	
11	De fácil montaje	2	Montaje	Peso	
12	Fácil de operar	4	Señales	Ergonomía	
13	Mantenimiento sencillo	3	Mantenibilidad		
14	Vida útil mayor a 10 años	4	Vida útil		
15	Bajo costo de producción	4	Costo		

Las métricas se ordenaron en función a la importancia de cada exigencia. Los valores objetivos son en base a las necesidades del cliente. Los valores se muestran en la tabla 5.

Tabla 5.

Valores objetivos para el diseño de un sistema electromecánico para fabricación de vigas.

Fuente: propia.

Item	Métrica	Unidad	Importancia	Valor objetivo
1	Función	-	5	Armado de vigas de acero no estándar.
2	Tolerancia	mm	5	Según norma
3	Seguridad	-	5	Equipo seguro
4	Tiempo	Minutos	4	10
5	Velocidad	Vigas/día	4	20
6	Estabilidad	-	4	Anclado
7	Rigidez	-	4	Sección compacta
8	Resistencia	MPa	4	> 300
9	Señales	-	4	Encendido/apago/emergencia/estado
10	Ergonomía	-	4	Según norma
11	Vida útil	Años	4	> 10
12	Costo	Dólares	4	< 35,000.00
13	Potencia	Hp	3	< 10
14	Fuerza	N	3	Para vigas de hasta 1 metro de alto
15	Mantenibilidad	-	3	Piezas comerciales
16	Largo	mm	2	10000
17	Ancho	mm	2	4000
18	Altura	mm	2	1500
19	Fabricación	-	2	En talleres metalmecánicos
20	Peso	Toneladas	2	< 3
21	Montaje	-	2	En talleres metalmecánicos

Mediante la tabla de entrevista se evaluó para cada exigencia. Se propuso una escala del 1 al 5, donde, 1 es poco relevante y 5 es bastante importante, obteniendo así los valores de la tabla 5.

4.1.2. Estructura de funciones

La función general del sistema es el armado de vigas de acero a partir de planchas laminadas. La entrada del sistema, son las planchas, potencia y señales; mientras que la salida del sistema se tiene, las vigas armadas, ruido y señales. En la figura 11 se muestra como caja negra el sistema en cuestión.



Figura 11. Blackbox sistema de armado de vigas no estándar. *Fuente: propia.*

Las funciones del sistema para lograr la función principal son: recibir, posicionar, asegurar, liberar y entregar.

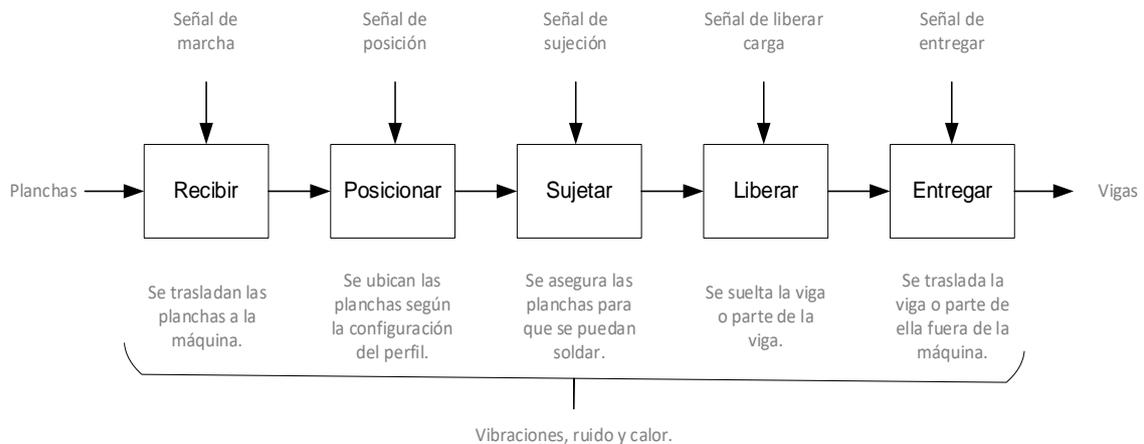


Figura 12. Estructura de funciones para sistema de armado de vigas no estándar. *Fuente: propia.*

En la tabla 6 se muestra el resumen de las funciones y las señales de la estructura de funciones del sistema de armado de vigas no estándar.

Tabla 6.

Funciones y señales del sistema para armado de vigas.

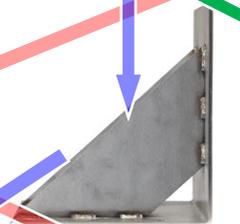
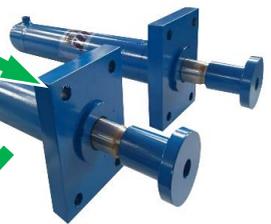
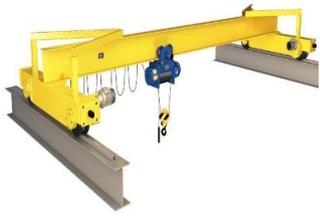
Fuente: propia.

Ítem	Función	Descripción	Señal
1	Recibir	Traslado de plancha a la máquina.	Marcha/stop
2	Posicionar	Ubicación de planchas una respecto a otra.	Marcha/stop
3	Sujetar	Asegurar el posicionamiento de las planchas.	status
4	Liberar	Liberación de la viga armada.	Status
5	Entregar	Traslado de la plancha fuera de la máquina.	Marcha/stop

4.1.3. Matriz morfológica

En la tabla 7 se muestran las alternativas tecnológicas para cada función de la estructura de funciones para el sistema de armado de vigas.

Tabla 7.
Matriz morfológica para el diseño de un sistema de armado de vigas.
Fuente: propia.

Función	Solución 1	Alternativas Solución 2	Solución 3
Recibir			
Posicionar			
Sujetar			
Liberar			
Entregar			

4.1.4. Selección de alternativa

La combinación de tecnologías para cada función se relacionó de acuerdo con el criterio del investigador y se obtuvieron 3 alternativas de solución.

- Alternativa de solución 1

El sistema es alimentado mediante un puente grúa, luego se posiciona mediante cartelas apuntaladas y se sujetan mediante prensa manual para evitar un desalineamiento de las planchas, luego se libera el sistema retirando la prensa y cortando los puntos de soldadura con una amoladora; finalmente, se retira la viga o parte de ella mediante el mismo puente grúa.

- Alternativa de solución 2

El sistema es alimentado mediante un pórtico y monorraíl con tecla eléctrica que permite trasladar la plancha por un sistema de rodillos hasta su posición final. El posicionamiento para dar forma a la viga, el asegurado de sus partes y la liberación de este se lleva a cabo mediante un sistema de pistones hidráulicos. Finalmente, se retira la viga o parte de ella mediante el mismo pórtico monorraíl.

- Alternativa de solución 3

El sistema requiere de un montacarga para alimentar las planchas, luego mediante un soporte en L rota la plancha para colocarla en su posición, se asegura y se libera la carga mediante un sujetador magnético. Finalmente, se utiliza el mismo montacarga para retirar la viga o parte de ella.

Las alternativas se evalúan con una matriz de puntuación, según las métricas planteadas en la tabla 5. El peso de cada criterio se realiza en función a la importancia dada a la métrica. En la tabla 8 se muestran los resultados de la evaluación de alternativas de solución, donde la alternativa 2 obtuvo el mayor puntaje.

Tabla 8.

Matriz morfológica para el diseño de un sistema de armado de vigas.

Fuente: propia.

Alternativas de solución			S1		S2		S3		S ideal	
N°	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	5	4	20	4	20	4	20	4	20
2	Tolerancia	5	2	10	4	20	3	15	4	20
3	Seguridad	5	1	5	4	20	3	15	4	20
4	Tiempo	4	1	4	3	12	3	12	4	16
5	Velocidad	4	1	4	3	12	3	12	4	16
6	Estabilidad	4	2	8	3	12	2	8	4	16
7	Rigidez	4	3	12	3	12	3	12	4	16
8	Resistencia	4	3	12	3	12	3	12	4	16
9	Señales	4	4	16	4	16	4	16	4	16
10	Ergonomía	4	2	8	4	16	4	16	4	16
11	Vida útil	4	3	12	3	12	3	12	4	16
12	Costo	4	1	4	3	12	3	12	4	16
13	Potencia	3	2	6	3	9	2	6	4	12
14	Fuerza	3	4	12	4	12	4	12	4	12
15	Mantenibilidad	3	4	12	3	9	3	9	4	12
16	Largo	2	4	8	4	8	4	8	4	8
17	Ancho	2	1	2	3	6	2	4	4	8
18	Altura	2	1	2	2	4	3	6	4	8
19	Fabricación	2	3	6	3	6	3	6	4	8
20	Peso	2	2	4	3	6	2	4	4	8
21	Montaje	2	4	8	4	8	2	4	4	8
Puntaje total				175		244		221		288
Valor técnico				0.61		0.85		0.77		1
Orden				1		2		3		0

g: importancia, p: puntaje; s: solución.

El valor g es la ponderación de cada criterio, que en este caso se le asignó en base a la importancia determinada en el cuadro de métricas. Los puntajes se multiplicaron por el peso ponderado de cada criterio y finalmente se obtuvo el valor del puntaje total donde la alternativa de solución tiene el mayor puntaje.

4.2. Planteamiento de la geometría y partes del sistema

4.2.1. Dimensiones máximas y mínimas de viga no estándar

Se requiere armar vigas no estándar con dimensiones en un rango desde valores de vigas que no se cuentan en los proveedores en Perú y en la tabla AISC. La viga de mayor dimensión en Perú es la de sección W27x114. En AISC 360-16 en la tabla 1-1 la sección W44x285 es la viga con mayor altura.

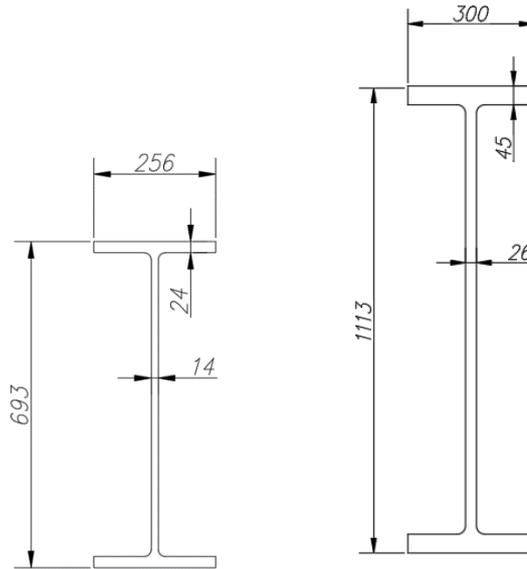


Figura 13. Sección W27x114 y W44x285 longitud 9 metros. *Fuente: propia.*

Usualmente para puentes de más de 20 metros, se requiere de peraltes desde 1200 mm hasta 2300 mm luego de estos valores es usual optar por puentes atirantados, o de arco bajo plataforma, etc. (AWS D1.5). Por ello se plantea la geometría a partir de vigas mayores a lo disponible en AISC 316. También se considera el largo máximo transportable. En la tabla 9 se muestra el rango dimensional.

Tabla 9.

Rango de operación dimensional del sistema electromecánico para armado de vigas. Fuente: propia.

Rango de operación para armado de vigas W no estándar.					
N°	Viga	Símbolo	Valor mínimo	Valor máximo	Unid.
1	Altura de viga	d	1200	2300	mm
2	Ancho de patín	bf	400	800	mm
3	Espesor de alma	tw	15.88	38.1	mm
4	Espesor de patín	tf	22.23	63.5	mm
5	Longitud	L	6000	9000	mm
6	Peso unitario	w	284.45	1440.93	Kg/m
7	Peso	W	1706.70	12968.37	Kg

Con esto se logró determinar la geometría preliminar del sistema de armado de vigas, en la figura 20 se muestra un esquema simplificado.

4.2.2. Asignación de medidas a la mesa regulable.

Se obtuvieron las dimensiones a partir de las dimensiones máximas mínimas de las vigas no estándar a fabricar. En la figura 14 se muestra el esquema del sistema que soporta el alma de la viga, considerando los dos tamaños de vigas.

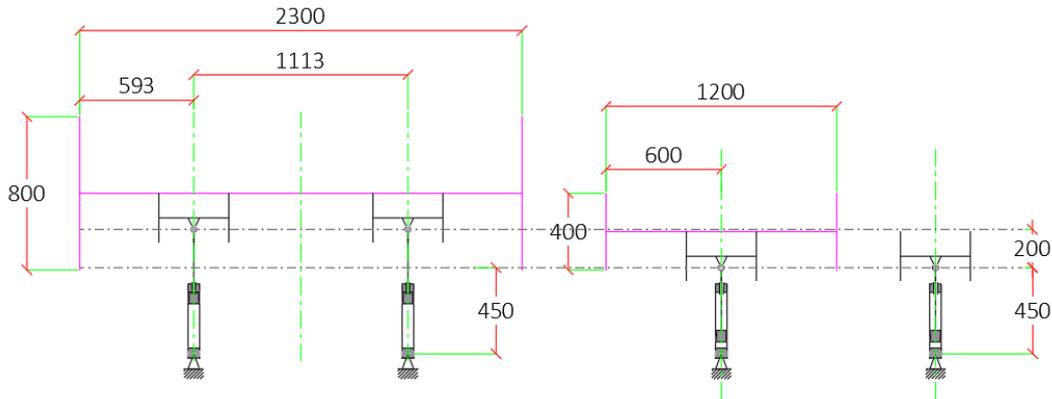


Figura 14. Sistema soporte para alma de viga. Fuente: propia.

El esquema inmediatamente evidenció lo siguiente:

- La necesidad de contar con pistones hidráulicos de 200 mm de carrera para poder centrar el alma de la viga según el tamaño.
- El pistón soporte debe estar espaciado como máximo 1113 mm, para que se pueda tener continuidad en la altura de viga que se podrá fabricar en el sistema que se diseñó.
- El sistema en proceso de diseño abrió 2 posibilidades para estabilizar la estructura: empotrar el pistón o usar barras guía.
- También se pudo observar que se pueden usar vigas con el alma paralela al piso, para sostener el alma de la viga no estándar, se están considerando vigas W14x82.

El sistema de soporte de alma de viga al cual se le nombró como mesa regulable, debe ser tal que no exista una deflexión excesiva en la plancha del alma en voladizo; para lo cual fue necesario evaluar esta condición considerando 3 casos, para el espesor de plancha mínimo de alma (t_w) y la altura máxima de la viga (d).

- Caso 1: para la plancha más ancha y esbelta con 2 soportes:

$$t_w = 5/8 \text{ pulg.} = 15.875 \text{ mm}, d = 2300 \text{ mm}$$

El diagrama de cuerpo libre de la plancha del alma, para una longitud de 9 metros, es una viga simplemente apoyada como se muestra en la figura 15. Debido a que el apoyo son 2 vigas estándar de 9 metros en posición horizontal, el diagrama se realiza en el plano xy (vista frontal).

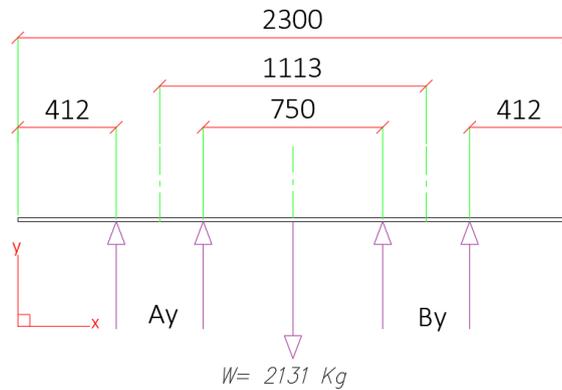


Figura 15. Diagrama de cuerpo libre para caso 1, plancha para alma de viga no estándar para 5/8" de espesor y 2300 mm de altura de viga. *Fuente: propia.*

Se modeló y simuló en SolidWorks y se obtuvo una deflexión máxima de 0.06 mm, por lo cual según el capítulo 6 del estándar AISC se encuentra dentro de la tolerancia dimensional de las vigas. En la figura 16, se muestran los resultados de la simulación.

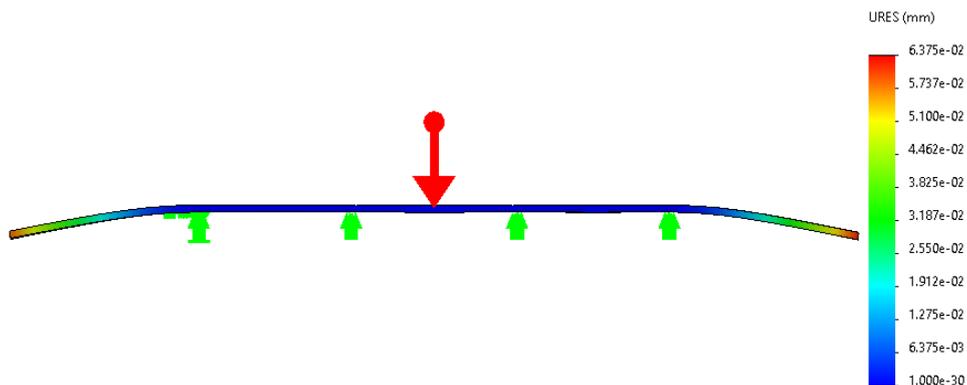


Figura 16. Resultados de deflexión de la plancha del alma caso 1. *Fuente: propia.*

- Caso 2: para la plancha más ancha y esbelta sostenible por 1 solo soporte centrado.

$$t_w = 5/8 \text{ pulg.} = 15.875 \text{ mm} , d = 1476 \text{ mm}$$

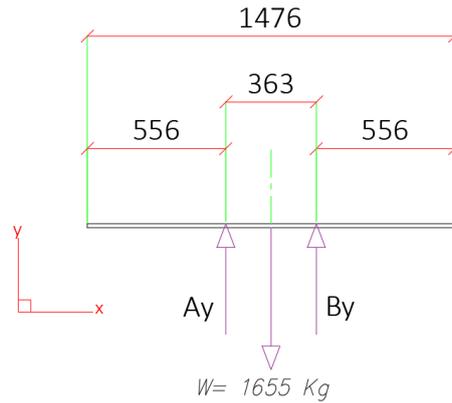


Figura 17. Diagrama de cuerpo libre para caso 2, plancha para alma de viga no estándar para 5/8" de espesor y 1476 mm de altura de viga. *Fuente: propia.*

También se modeló en SolidWorks y se obtuvieron valores bajos de deformación, sin embargo, se observó que esta opción implica contar con pistones de sujeción en ambos lados para que pueda centrarse la plancha sobre uno de los soportes de la mesa regulable. La deformación máxima es de 0.1656 mm.

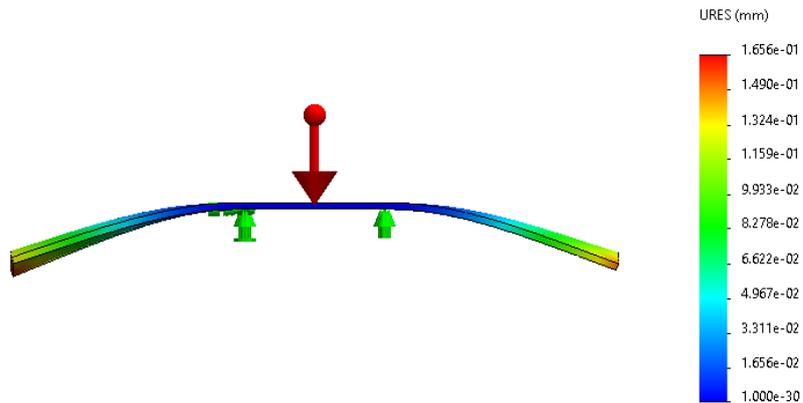


Figura 18. Resultados de deflexión de la plancha del alma caso 2. *Fuente: propia.*

- Caso 3: para la plancha más ancha y esbelta sostenible por 1 solo soporte no centrado.

$$t_w = 5/8 \text{ pulg.} = 15.875 \text{ mm} , d = 1476 \text{ mm}$$

En este caso la plancha queda con el centro de masa en dentro de los puntos de apoyo, pero la plancha sobresale 738 mm.

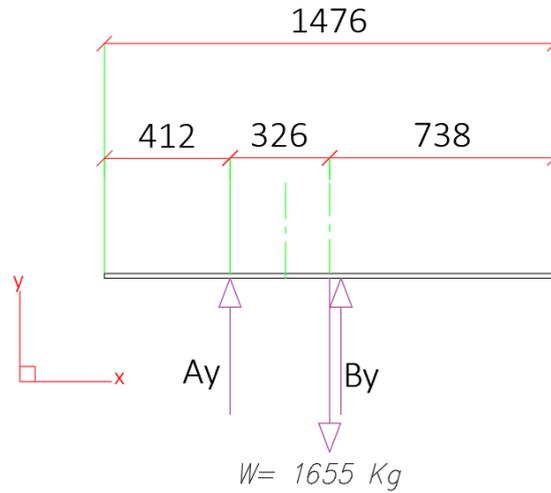


Figura 19. Diagrama de cuerpo libre para caso 3. *Fuente: propia.*

Los resultados de SolidWorks fueron mayores, sin embargo, son menores a los indicados en la tabla 1-22 de la AISC.

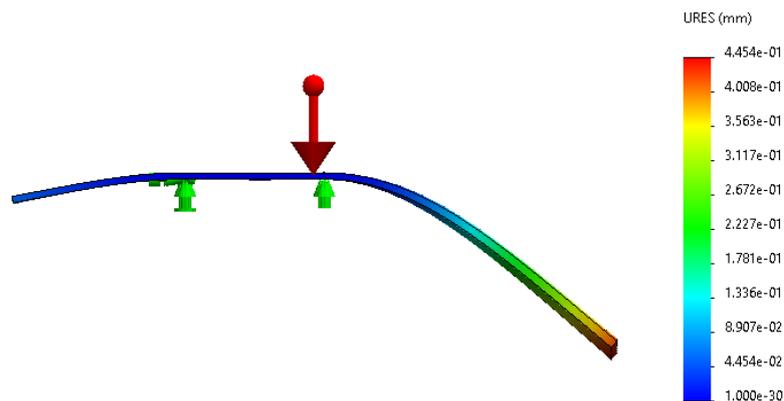


Figura 20. Resultados de deflexión de la plancha del alma caso 3. *Fuente: propia.*

De este modo se corroboró que la geometría de la mesa regulable es aceptable y no es necesario contar con sujeción lateral hidráulica por ambos lados; un extremo puede ser fijo y el otro regulable.

4.2.3. Asignación de medidas del sistema de sujeción lateral.

La sujeción lateral como se observó, tendrá un extremo fijo y un extremo móvil que presionará los patines (alas) y el ala contra el extremo fijo. La carrera necesaria del pistón hidráulico lateral no debe ser mayor a la desviación máxima del patín indicada por la AISC en la Tabla 1-23. En la figura 21, se muestra el esquema en vista frontal (plano xy).

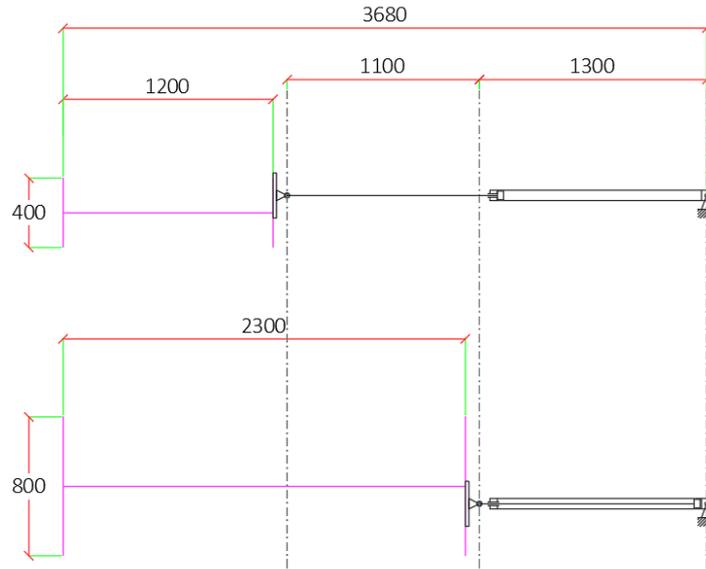


Figura 21. Resultados de deflexión de la plancha del alma caso 3. *Fuente: propia.*

Se requiere un pistón hidráulico con 1100 mm de carrera para asegurar la carga por la parte lateral. El ancho total del equipo sería la suma del ancho del tope en lado izquierdo y el soporte del pistón en lado derecho. También la distancia máxima a la que puede estar separado la estructura de mesa fija. Se simuló la plancha del ala en SolidWorks para determinar la deformación.

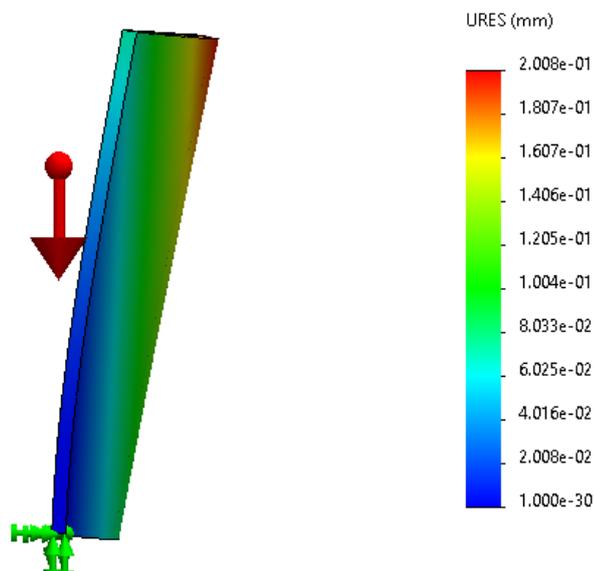


Figura 22. Resultados de deflexión de plancha de patín (alma). *Fuente: propia.*

De esta manera se determinó que se puede considerar 4 mesas fijas (sistema de sujeción lateral; debido a que la deformación es menor a:

$$camber = \frac{1}{8} (\text{pulg.}) * \frac{\text{Longitud}(\text{ft})}{5} = 0.246 \text{ pulg.} = 6.25 \text{ mm}$$

El valor obtenido de deflexión es 0.20 mm.

4.2.4. Geometría y partes del sistema de armado de vigas.

Se determinó que el sistema debe contar con las siguientes partes: mesa fija, mesa regulable y sistema hidráulico.

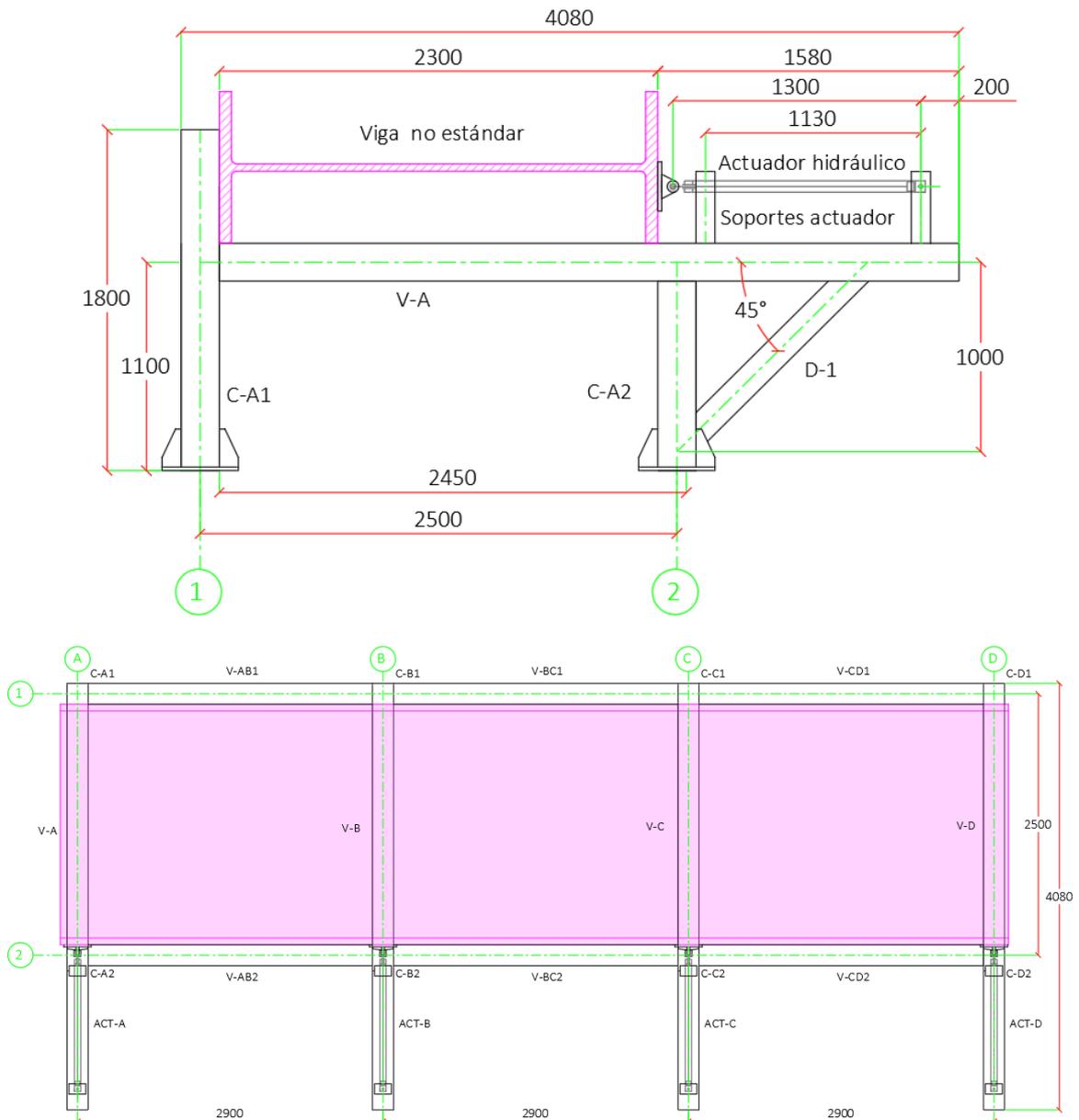


Figura 23. Dimensiones mesa fija (sujeción lateral). Fuente: propia.

La mesa regulable se compone básicamente de un puente que se eleva mediante un sistema hidráulico. En la figura 24 se muestran las dimensiones de la mesa regulable.

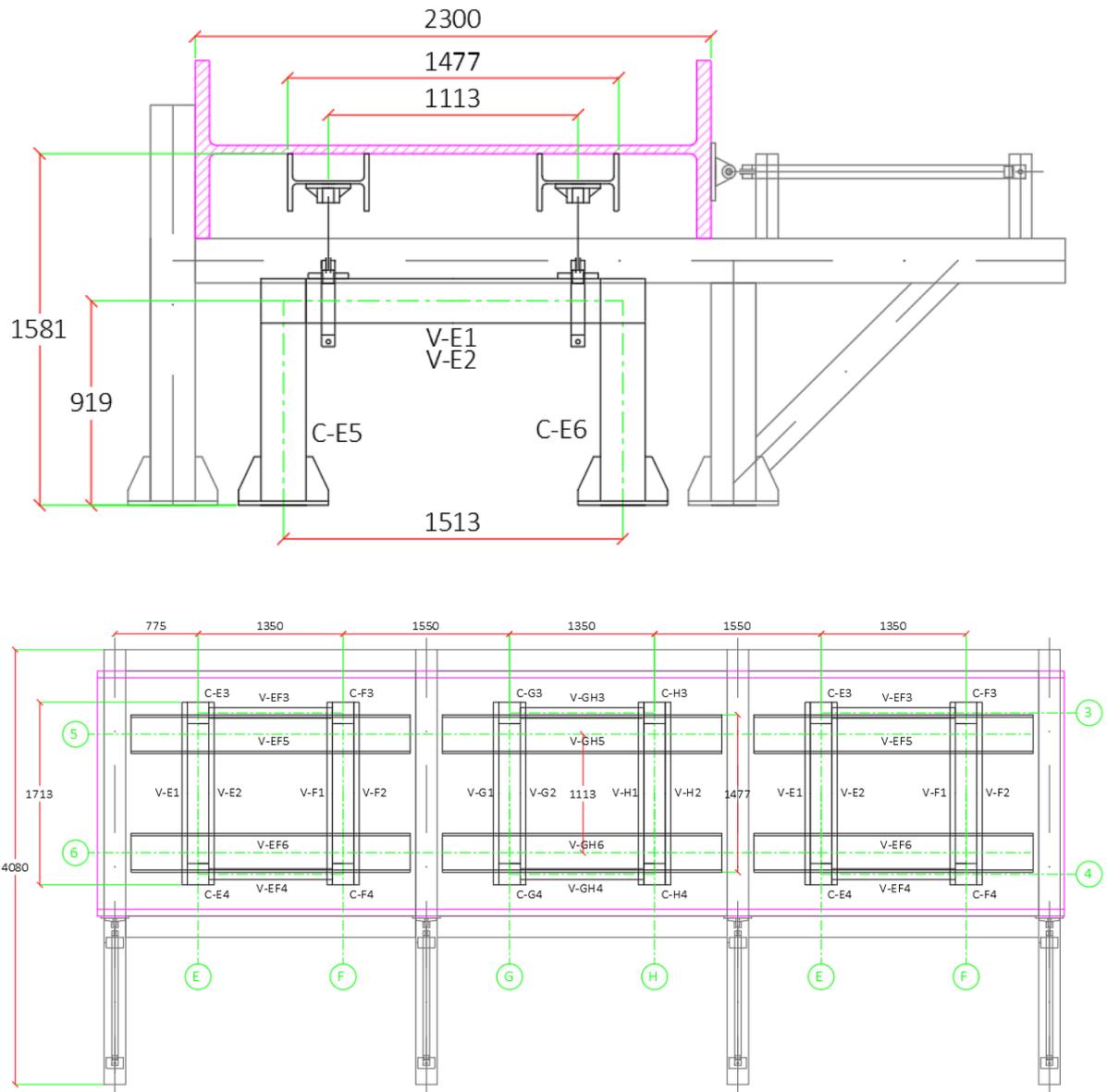


Figura 24. Dimensiones mesa regulable. Fuente: propia.

4.3. Cálculo cinemático y de resistencia de los elementos del sistema

4.3.1. Pre-dimensionamiento de estructura

Se dimensionó previamente las secciones de los elementos estructurales de la mesa fija y regulable. En la tabla 10, se muestran las secciones de los elementos de mesa fija por código.

Tabla 10.

Secciones de elementos de mesa fija. *Fuente: propia.*

N°	Elemento	Sección	Longitud (mm)	Segundo momento de inercia (m ⁴)		Peso (Kg)
				I _{xx}	I _{yy}	
1	C-A1	W6x20	1800	1.7232*10 ⁻⁵	5.5359*10 ⁻⁶	53.17
2	C-A2	W6x20	995	1.7232*10 ⁻⁵	5.5359*10 ⁻⁶	30.17
3	C-B1	W6x20	1800	1.7232*10 ⁻⁵	5.5359*10 ⁻⁶	53.17
4	C-B2	W6x20	995	1.7232*10 ⁻⁵	5.5359*10 ⁻⁶	30.17
5	C-C1	W6x20	1800	1.7232*10 ⁻⁵	5.5359*10 ⁻⁶	53.17
6	C-C2	W6x20	995	1.7232*10 ⁻⁵	5.5359*10 ⁻⁶	30.17
7	C-D1	W6x20	1800	1.7232*10 ⁻⁵	5.5359*10 ⁻⁶	53.17
8	C-D2	W6x20	995	1.7232*10 ⁻⁵	5.5359*10 ⁻⁶	30.17
9	V-A	W6x20	3901	1.7232*10 ⁻⁵	5.5359*10 ⁻⁶	115.25
10	V-B	W6x20	3901	1.7232*10 ⁻⁵	5.5359*10 ⁻⁶	115.25
11	V-C	W6x20	3901	1.7232*10 ⁻⁵	5.5359*10 ⁻⁶	115.25
12	V-D	W6x20	3901	1.7232*10 ⁻⁵	5.5359*10 ⁻⁶	115.25
13	D-1	W4x13	1223	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	21.51
14	D-2	W4x13	1223	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	21.51
15	D-3	W4x13	1223	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	21.51
16	D-4	W4x13	1223	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	21.51
17	V-AB1	W4x13	2894	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	55.72
18	V-AB2	W4x13	2894	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	55.72
19	V-BC1	W4x13	2894	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	55.72
20	V-BC2	W4x13	2894	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	55.72
21	V-CD1	W4x13	2894	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	55.72
22	V-CD2	W4x13	2894	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	55.72
23	SA-A1	TR6X4X1/4"	400	8.6992*10 ⁻⁶	4.6202*10 ⁻⁶	9.12
24	SA-A2	TR6X4X1/4"	400	8.6992*10 ⁻⁶	4.6202*10 ⁻⁶	9.12
25	SA-B1	TR6X4X1/4"	400	8.6992*10 ⁻⁶	4.6202*10 ⁻⁶	9.12
26	SA-B2	TR6X4X1/4"	400	8.6992*10 ⁻⁶	4.6202*10 ⁻⁶	9.12
27	SA-C1	TR6X4X1/4"	400	8.6992*10 ⁻⁶	4.6202*10 ⁻⁶	9.12
28	SA-C2	TR6X4X1/4"	400	8.6992*10 ⁻⁶	4.6202*10 ⁻⁶	9.12
29	SA-D1	TR6X4X1/4"	400	8.6992*10 ⁻⁶	4.6202*10 ⁻⁶	9.12
30	SA-D2	TR6X4X1/4"	400	8.6992*10 ⁻⁶	4.6202*10 ⁻⁶	9.12

En la tabla 11, se muestran las secciones de los elementos de la mesa regulable.

Tabla 11.

Secciones de elementos de mesa regulable. *Fuente: propia.*

N°	Elemento	Sección	Longitud (mm)	Segundo momento de inercia (m ⁴)		Peso (Kg)
				I _{xx}	I _{yy}	
1	C-E3	W4x13	1000	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	19.26
2	C-F3	W4x13	1000	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	19.26
3	C-E4	W4x13	1000	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	19.26
4	C-F4	W4x13	1000	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	19.26
5	C-G3	W4x13	1000	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	19.26
6	C-H3	W4x13	1000	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	19.26
7	C-G4	W4x13	1000	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	19.26
8	C-H4	W4x13	1000	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	19.26
9	V-EF3	W4x13	1244	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	23.96
10	V-EF4	W4x13	1244	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	23.96
11	V-GH3	W4x13	1244	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	23.96
12	V-GH4	W4x13	1244	4.7034*10 ⁻⁶	1.6067*10 ⁻⁶	23.96
13	V-E1	U6x13	1713	7.2008*10 ⁻⁶	4.3704*10 ⁻⁷	31.10
14	V-E2	U6x13	1713	7.2008*10 ⁻⁶	4.3704*10 ⁻⁷	31.10
15	V-F1	U6x13	1713	7.2008*10 ⁻⁶	4.3704*10 ⁻⁷	31.10
16	V-F2	U6x13	1713	7.2008*10 ⁻⁶	4.3704*10 ⁻⁷	31.10
17	V-G1	U6x13	1713	7.2008*10 ⁻⁶	4.3704*10 ⁻⁷	31.10
18	V-G2	U6x13	1713	7.2008*10 ⁻⁶	4.3704*10 ⁻⁷	31.10
19	V-H1	U6x13	1713	7.2008*10 ⁻⁶	4.3704*10 ⁻⁷	31.10
20	V-H2	U6x13	1713	7.2008*10 ⁻⁶	4.3704*10 ⁻⁷	31.10
21	V-EF5	W14x82	2600	3.6712*10 ⁻⁴	6.1602*10 ⁻⁶	317.20
22	V-EF6	W14x82	2600	3.6712*10 ⁻⁴	6.1602*10 ⁻⁶	317.20
23	V-GH5	W14x82	2600	3.6712*10 ⁻⁴	6.1602*10 ⁻⁶	317.20
24	V-GH6	W14x82	2600	3.6712*10 ⁻⁴	6.1602*10 ⁻⁶	317.20

4.3.2. Cálculo de cargas en mesa fija

Se inició calculando la fuerza ejercida por los pistones para deformar la plancha del patín para una posible curvatura. Esta curvatura es un valor desconocido, sin embargo, para esta parte se asumió la deflexión máxima 6.35 mm considerada por la AISC como tolerancia de fabricación; bajo la condición de no sobrepasar el límite elástico, es decir por criterio ASD el factor de reducción del esfuerzo es de 1.67. El esfuerzo de fluencia del acero ASTM A992 es 345.31 MPa.

- Diagrama de cuerpo libre de la plancha del patín:

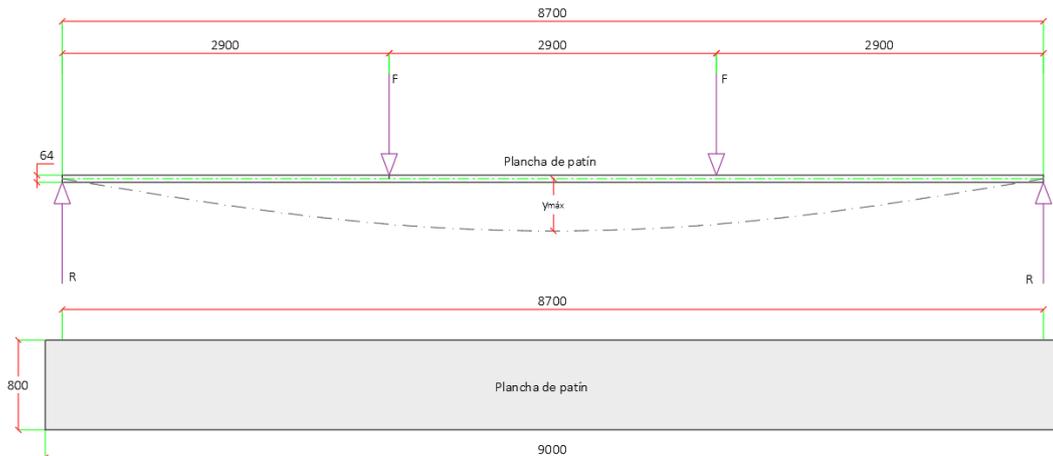


Figura 25. Diagrama de cuerpo libre patín para cálculo de fuerza para enderezar.

Fuente: propia.

En la tabla 12 se muestra los resultados para deformar la plancha del patín.

Tabla 12.

Fuerza para deformar la plancha del patín. *Fuente: propia.*

N°	DESCRIPCIÓN	Fórmula	Resultado	Unidades
1	Momento de inercia de la plancha del patín (ala):	$I = \frac{b^3 h}{12}$	1.71E-05	m ⁴
2	Fuerza mínima requerida para producir la deflexión máxima de 6.35 mm:	$F_{min} = \frac{24y_{max}EI}{a(4a^2 - 3l^2)}$	-927.53	N
3	Momento flector máximo:	$M = Fa$	2689.83	Nm
4	Esfuerzo permisible para no superar la fluencia	$\sigma_{perm} = \frac{S_y}{1.67}$	206.77	Mpa
5	Esfuerzo normal para enderezar la plancha	$\sigma_M = \frac{Mc}{I}$	5	MPa
6	Fuerza de fricción que debe superar el pistón hidráulico	$F_f = \mu_s mg$	4470.74	N
7	Fuerza total que el pistón debe ejercer como mínimo	$F_p = F_{min} + F_f$	5698.27	N

Expresado en Kg

$$F_p = 580.86 \text{ Kg}$$

Se consideró que cada pistón será de 1 tonelada.

$$F_p = 1000 \text{ Kg}$$

En la tabla 13 se muestran los resultados de las cargas sobre la mesa fija.

Tabla 13.
Cargas en mesa fija. *Fuente: propia.*

N°	DESCRIPCIÓN	Fórmula	Resultado	Unidades
1	Carga muerta	$D = W_{\text{mesa fija}} + W_{\text{equipos}}$	326.72	Kg
2	Carga viva 1	$L_1 = W_{\text{viga}} * 1.1 * 1.25$	5943.84	Kg
3	Carga viva 2	$L_2 = 1.25 * F_p$	1250.00	Kg
4	Carga por sismo	$V = \frac{ZUCS}{R} P$	176.97	Kg

4.3.3. Cálculo de cargas en mesa regulable

Al igual que en la mesa fija se definieron 3 tipos de cargas sobre la mesa regulable: muerta, viva y sismo. Se evaluó la mesa central G y H ya que es la que soportará más carga que la mesas en los extremos. En la tabla 14 se muestran los resultados de las cargas sobre la mesa regulable.

Tabla 14.
Cargas en mesa regulable. *Fuente: propia.*

N°	DESCRIPCIÓN	Fórmula	Resultado	Unidades
1	Carga muerta	$D = W_{\text{mesa fija}} + W_{\text{equipos}}$	502.81	Kg
2	Carga viva	$L_1 = W_{\text{viga}} * 1.1 * 1.25$	4457.88	Kg
3	Carga por sismo	$V = \frac{ZUCS}{R} P$	272.36	Kg

4.3.4. Combinaciones de cargas

Para criterio ASD según norma E.020 artículo 19, se deben considerar las siguientes combinaciones de cargas. Se obviaron las combinaciones que involucran cargas despreciables sobre la estructura de la mesa fija.

Combinación 1: D

- En mesa fija

$$D = 244 + 55.72 + 30 = 326.72 \text{ Kg}$$

- En mesa regulable

$$D = 155.61 + 317.20 + 30 = 502.81 \text{ Kg}$$

Combinación 2: D + L

- En mesa fija

$$D + L_1 + L_2 = 326.72 + 5943.84 + 1250 \text{ Kg}$$

- En mesa regulable

$$D + L = 502.81 + 4457.88 \text{ Kg}$$

Combinación 3: D + 0.7E

- En mesa fija

$$D = 1418 + 0.7 * 176.97 = 1418 + 123.88 \text{ Kg}$$

- En mesa regulable

$$D = 700.49 + 0.7 * 272.36 = 700.49 + 190.65 \text{ Kg}$$

4.3.5. Cálculo de reacciones y momentos

Las reacciones y fuerzas internas se calcularon por separado para mesa fija y mesa regulable. Estos valores se obtuvieron de SAP 2000 considerando las combinaciones de cargas para cada mesa. Los valores de momentos, fuerza normal y fuerza cortante se encuentran en la combinación de carga 2.

4.3.6. Cálculo de esfuerzos en mesa fija

Los esfuerzos se calcularon para la combinación 2 que tuvo las reacciones y momentos mayores.

Primer momento de área en secciones W para el cálculo de cortante en la interfaz de patín-alma.

$$Q_{W6x20} = A\bar{y} = 1.4176 * 10^{-3} * 0.06947 = 9.85 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$Q_{W4x13} = A\bar{y} = 9.0368 * 10^{-4} * 0.04280 = 3.87 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$Q_{2C6x13} = A\bar{y} = 9.5597 * 10^{-4} * 0.06749 = 6.45 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

- Elemento C-B1

$$\sigma_i = \frac{-3142.23 * 9.81}{0.00379} + \frac{-188.75 * 9.81 * 0.07874}{1.7232 * 10^{-5}} = -16.59 \text{ MPa}$$

$$\sigma_j = \frac{-3142.23 * 9.81}{0.00379} + \frac{82.03 * 0.07874}{1.7232 * 10^{-5}} = -4.46 \text{ MPa}$$

$$\tau_{i,j} = \frac{246.35 * 9.81 * 9.85 * 10^{-5}}{1.7232 * 10^{-5} * 0.00635} = 2.18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1i} = \frac{-16.59 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{-16.59 - 0}{2}\right)^2 + 2.18^2} = 0.28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2i} = \frac{-16.59 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{-16.59 - 0}{2}\right)^2 + 90.35^2} = -16.87 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \left[\frac{(0.28 - (-16.87))^2 + ((-16.87) - 0)^2 + (0 - 0.28)^2}{2} \right]^{1/2} = 17.01 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_{oct} = \frac{1}{3} \left[(82.43 - (-99.03))^2 + ((-99.03) - 0)^2 + (0 - 82.43)^2 \right]^{1/2} = 8.02 \text{ MPa}$$

- Elemento C-B2

$$\sigma_i = \frac{-3157.2 * 9.81}{0.00379} + \frac{38.38 * 9.81 * 0.07874}{1.7232 * 10^{-5}} = -8.00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_j = \frac{-3157.2 * 9.81}{0.00379} + \frac{51.32 * 9.81 * 0.07874}{1.7232 * 10^{-5}} = -7.94 \text{ MPa}$$

$$\tau_j = \frac{-246.35 * 9.81 * 9.85 * 10^{-5}}{1.7232 * 10^{-5} * 0.00635} = -2.18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1i} = \frac{-8 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{-8 - 0}{2}\right)^2 + (-2.18)^2} = 0.56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2i} = \frac{-8 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{-8 - 0}{2}\right)^2 + (-2.18)^2} = -8.56 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \left[\frac{(0.56 - (-8.56))^2 + ((-8.56) - 0)^2 + (0 - 0.56)^2}{2} \right]^{1/2} = 8.85 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_{oct} = \frac{1}{3} \left[(0.56 - (-8.56))^2 + ((-8.56) - 0)^2 + (0 - 0.56)^2 \right]^{1/2} = 4.17 \text{ MPa}$$

- Elemento V-A

$$\sigma_{i,j} = \frac{1496.35 * 9.81}{0.00379} + \frac{375 * 9.81 * 0.07874}{1.7232 * 10^{-5}} = 20.68 \text{ MPa}$$

$$\tau_j = \frac{-3033.01 * 9.81 * 9.85 * 10^{-5}}{1.7232 * 10^{-5} * 0.00635} = -26.78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1i} = \frac{20.68 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{20.68 - 0}{2}\right)^2 + (-26.78)^2} = 39.05 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2i} = \frac{20.68 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{20.68 - 0}{2}\right)^2 + (-26.78)^2} = -18.37 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \left[\frac{(34.02 - (-21.08))^2 + ((-21.08) - 0)^2 + (0 - 34.02)^2}{2} \right]^{1/2} = 50.79 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_{oct} = \frac{1}{3} \left[(34.02 - (-21.08))^2 + ((-21.08) - 0)^2 + (0 - 34.02)^2 \right]^{1/2} = 23.94 \text{ MPa}$$

Esfuerzos normales en mesa regulable:

- Elemento C-E5

$$\sigma_i = \frac{-2444.04 * 9.81}{0.00247} + \frac{-307.87 * 9.81 * 0.05283}{4.7034 * 10^{-6}} = -43.63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_j = \frac{-2444.04 * 9.81}{0.00379} + \frac{307.87 * 9.81 * 0.07874}{1.7232 * 10^{-5}} = 24.22 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ij} = \frac{-472.56 * 9.81 * 3.87 * 10^{-5}}{4.7034 * 10^{-6} * 0.00635} = -6.01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1i} = \frac{-43.63 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{-43.63 - 0}{2}\right)^2 + (-6.01)^2} = 0.81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2i} = \frac{-43.63 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{-43.63 - 0}{2}\right)^2 + (-6.01)^2} = -44.44 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \left[\frac{(0.81 - (-44.44))^2 + ((-44.44) - 0)^2 + (0 - 0.81)^2}{2} \right]^{1/2} = 44.85 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_{oct} = \frac{1}{3} \left[(0.56 - (-8.56))^2 + ((-8.56) - 0)^2 + (0 - 0.56)^2 \right]^{1/2} = 21.14 \text{ MPa}$$

- Elemento C-E6

$$\sigma_i = \frac{-2444.04 * 9.81}{0.00247} + \frac{307.87 * 9.81 * 0.05283}{4.7034 * 10^{-6}} = 24.22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_j = \frac{-2444.04 * 9.81}{0.00379} + \frac{-307.87 * 9.81 * 0.07874}{1.7232 * 10^{-5}} = -43.63 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ij} = \frac{472.56 * 9.81 * 3.87 * 10^{-5}}{4.7034 * 10^{-6} * 0.00635} = 6.01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1i} = \frac{-43.63 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{-43.63 - 0}{2}\right)^2 + (6.01)^2} = 0.81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2i} = \frac{-43.63 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{-43.63 - 0}{2}\right)^2 + (6.01)^2} = -44.44 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \left[\frac{((0.81 - (-44.44))^2 + ((-44.44) - 0)^2 + (0 - 0.81)^2)}{2} \right]^{1/2} = 44.85 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_{oct} = \frac{1}{3} \left[(0.56 - (-8.56))^2 + ((-8.56) - 0)^2 + (0 - 0.56)^2 \right]^{1/2} = 21.14 \text{ MPa}$$

- Elemento V-E1

$$\sigma_i = \frac{-472.56 * 9.81}{0.00247} + \frac{307.87 * 9.81 * 0.05283}{4.7034 * 10^{-6}} = 32.05 \text{ MPa}$$

$$\sigma_j = \frac{-472.56 * 9.81}{0.00379} + \frac{-307.87 * 9.81 * 0.07874}{1.7232 * 10^{-5}} = -35.80 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ij} = \frac{2402.21 * 9.81 * 3.87 * 10^{-5}}{4.7034 * 10^{-6} * 0.00635} = 30.54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1i} = \frac{-35.80 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{-35.80 - 0}{2}\right)^2 + (30.54)^2} = 17.50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2i} = \frac{-35.80 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{-35.80 - 0}{2}\right)^2 + (30.54)^2} = -53.30 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \left[\frac{((17.50 - (-53.30))^2 + ((-53.30) - 0)^2 + (0 - 17.50)^2)}{2} \right]^{1/2} = 63.87 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_{oct} = \frac{1}{3} \left[(0.56 - (-8.56))^2 + ((-8.56) - 0)^2 + (0 - 0.56)^2 \right]^{1/2} = 30.11 \text{ MPa}$$

4.3.7. Criterio de aceptación de estructuras

AISC indica que para cargas normales y momentos flectores en elementos estructurales se debe considerar como mínimo un factor de diseño mínimo de 1.67

por criterio ASD. Considerando un acero ASTM A36 con $S_y=250$ MPa, se encontró un esfuerzo permisible de:

$$\sigma_{perm} = \frac{S_y}{1.67} = \frac{250 \text{ MPa}}{1.67} = 149.7 \text{ MPa}$$

Para cargas en cortante en elementos a flexión, el valor mínimo del factor de diseño es de 1.50 y se debe considerar la resistencia a la fluencia al cortante.

$$S_{ys} = 0.5S_y = 125 \text{ MPa}$$

$$\tau_{perm} = \frac{S_{ys}}{1.5} = \frac{125}{1.5} = 83 \text{ MPa}$$

Factores de seguridad en mesa fija:

- Elemento C-B1

$$F_s = \frac{149.7}{17.01} = 8.80$$

$$F_{ss} = \frac{83.00}{8.02} = 10.35$$

- Elemento C-B2

$$F_s = \frac{149.7}{8.85} = 16.92$$

$$F_{ss} = \frac{83.00}{4.17} = 19.90$$

- Elemento V-A

$$F_s = \frac{149.7}{50.79} = 2.95$$

$$F_{ss} = \frac{83.00}{23.94} = 3.47$$

El factor de seguridad mínimo en los elementos de la mesa fija, es de 2.95 en criterio ASD para esfuerzo normal y para esfuerzo cortante 3.47.

Factores de seguridad en mesa regulable:

- Elemento C-E5

$$F_s = \frac{149.7}{44.85} = 3.34$$

$$F_{ss} = \frac{83.00}{21.14} = 3.93$$

- Elemento C-E6

$$F_s = \frac{149.7}{44.85} = 3.34$$

$$F_{ss} = \frac{83.00}{21.14} = 3.93$$

- Elemento V-E1

$$F_s = \frac{149.7}{63.87} = 2.34$$

$$F_{ss} = \frac{83.00}{30.11} = 2.76$$

El factor de seguridad mínimo es de 3.34 en criterio ASD para esfuerzo normal y para esfuerzo cortante 2.76.

Tabla 15.
Esfuerzos y factor de seguridad en mesa fija. *Fuente: propia.*

N°	DESCRIPCIÓN	Fórmula	Unidades	C-B1	C-B2	V-A
1	Esfuerzo normal i	$\sigma_{i,j} = \frac{F}{A} + \frac{Mc}{I}$	MPa	-16.59	-8.00	20.68
2	Esfuerzo normal j	$\sigma_{i,j} = \frac{F}{A} + \frac{Mc}{I}$	MPa	-4.46	-7.94	20.68
3	Esfuerzo cortante	$\tau_{i,j} = \frac{VQ}{It}$	MPa	2.18	-2.18	-26.78
4	Esfuerzo principal 1	$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$	MPa	0.28	0.56	39.05
5	Esfuerzo principal 2	$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$	MPa	-16.87	-8.56	-18.37
6	Esfuerzo de Von Mises	$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2}$	MPa	17.01	8.85	50.79
7	Esfuerzo cortante octaédrico	$\sigma'_{oct} = \frac{1}{3} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2}$	MPa	8.02	4.17	23.94
8	Factor de seguridad (normal)	$F_s = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma'}$	-	8.80	16.92	2.95
9	Factor de seguridad (cortante)	$F_{ss} = \frac{\tau_{perm}}{\sigma'_{oct}}$	-	10.35	19.90	3.47

Tabla 16.Esfuerzos y factor de seguridad en mesa regulable. *Fuente: propia.*

N°	DESCRIPCIÓN	Fórmula	Unidades	C-E5	C-E6	V-E1
1	Esfuerzo normal i	$\sigma_{i,j} = \frac{F}{A} + \frac{Mc}{I}$	MPa	-43.63	24.22	32.05
2	Esfuerzo normal j	$\sigma_{i,j} = \frac{F}{A} + \frac{Mc}{I}$	MPa	24.22	-43.63	-35.8
3	Esfuerzo cortante	$\tau_{i,j} = \frac{VQ}{It}$	MPa	-6.01	6.01	30.54
4	Esfuerzo principal 1	$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$	MPa	0.81	0.81	17.5
5	Esfuerzo principal 2	$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$	MPa	-44.44	-44.44	-53.3
6	Esfuerzo de Von Mises	$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2}$	MPa	44.85	44.85	63.87
7	Esfuerzo cortante octaédrico	$\sigma'_{oct} = \frac{1}{3} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2}$	MPa	21.14	21.14	30.11
8	Factor de seguridad (normal)	$F_s = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma'}$	-	3.34	3.34	2.34
9	Factor de seguridad (cortante)	$F_{ss} = \frac{\tau_{perm}}{\sigma'_{oct}}$	-	3.93	3.93	2.76

4.3.8. Diseño de placa base

La placa base se diseñó considerando acero ASTM A36 al igual que la estructura con una resistencia a la fluencia de 250 MPa. El concreto para la zapata a los 28 días se consideró de 20 MPa. Se consideró cubrir toda la zapata con la placa de acero. Se diseñó por compresión considerando las reacciones de la columna para la combinación de carga 2 en ambas mesas.

- Mesa fija

$$P = 3157.20 \text{ Kg}$$

La relación de áreas es igual a 1 ya que ambas áreas son iguales.

$$\sqrt{\frac{A_1}{A_2}} = 1$$

El área requerida de la placa base, en función a la resistencia del concreto:

$$A_1 = \frac{P\Omega_c}{0.85f'_c \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}} = \frac{3157.20 * 9.81 * 2.31}{0.85 * 20 * 10^6 * 1} = 0.0042 \text{ m}^2$$

Área mínima de placa base, para sección W6x20.

$$A_1 = db_f = 0.15748 * 0.15291 = 0.024 \text{ m}^2$$

La carga es baja por lo que se debe considerar el área 1 por geometría de la sección.

$$\Delta = \frac{0.95d - 0.8b_f}{2} = \frac{0.95 * 0.15748 - 0.8 * 0.15291}{2} = 0.0136 \text{ m}$$

$$N = \sqrt{0.024} + 0.0136 = 0.169 \text{ m} \approx 170 \text{ mm}$$

$$B = N = 170 \text{ mm}$$

Espesor de placa base

$$m = \frac{N - 0.95d}{2} = \frac{0.170 - 0.95 * 0.15748}{2} = 0.010 \text{ m}$$

$$n = \frac{B - 0.95b_f}{2} = \frac{0.170 - 0.95 * 0.15291}{2} = 0.012 \text{ m}$$

$$n' = \frac{\sqrt{db_f}}{4} = 0.039 \text{ m}$$

$$l = 0.039 \text{ m}$$

Se consideró un factor de seguridad mínimo igual al valor mínimo obtenido para la estructura de mesa fija.

$$th_{pb} = l \sqrt{\frac{3.33P}{F_yBN}} = l \sqrt{\frac{3.33 * 3157.20 * 9.81}{\frac{250}{3.11} * 10^6 * 0.170 * 0.170}} = 8.22 \text{ mm}$$

Espesor comercial 3/8".

- Mesa regulable

$$P = 2444.04 \text{ Kg}$$

La relación de áreas es igual a 1 ya que ambas áreas son iguales.

$$\sqrt{\frac{A_1}{A_2}} = 1$$

El área requerida de la placa base, en función a la resistencia del concreto:

$$A_1 = \frac{P\Omega_c}{0.85f'_c\sqrt{\frac{A_1}{A_2}}} = \frac{2444.04 * 9.81 * 2.31}{0.85 * 20 * 10^6 * 1} = 0.0042 \text{ m}^2$$

Área mínima de placa base, para sección W6x20.

$$A_1 = db_f = 0.106 * 0.103 = 0.011 \text{ m}^2$$

La carga es baja por lo que se debe considerar el área 1 por geometría de la sección.

$$\Delta = \frac{0.95d - 0.8b_f}{2} = \frac{0.95 * 0.106 - 0.8 * 0.103}{2} = 0.009 \text{ m}$$

$$N = \sqrt{0.011} + 0.009 = 0.114 \text{ m} \approx 120 \text{ mm}$$

$$B = N = 120 \text{ mm}$$

Espesor de placa base

$$m = \frac{N - 0.95d}{2} = \frac{0.120 - 0.95 * 0.106}{2} = 0.010 \text{ m}$$

$$n = \frac{B - 0.95b_f}{2} = \frac{0.120 - 0.95 * 0.103}{2} = 0.011 \text{ m}$$

$$n' = \frac{\sqrt{db_f}}{4} = 0.026 \text{ m}$$

$$l = 0.026 \text{ m}$$

Se consideró un factor de seguridad mínimo igual al valor mínimo obtenido para la estructura de mesa fija.

$$th_{pb} = l \sqrt{\frac{3.33P}{F_yBN}} = 0.026 \sqrt{\frac{3.33 * 2444.04 * 9.81}{\frac{250}{3.11} * 10^6 * 0.120 * 0.120}} = 6.83 \text{ mm}$$

Espesor comercial 5/16".

4.3.9. Cálculo hidráulico en sistema hidráulico de mesa fija

Considerando una caída de presión de 4 bar, la fuerza máxima del pistón, es:

$$F = p_2 * A_2 - p_1 * A_1$$

$$F = 100 * 10^5 * A_2 - 5 * 10^5 * A_1 \geq 12.26 \text{ KN}$$

Considerando un diámetro mínimo de 30 mm en el vástago y 50 mm en cilindro, se obtiene una fuerza de 19.01 KN.

Tabla 17.

Secciones de elementos de mesa regulable. *Fuente: propia.*

Diámetro del vástago	Diámetro del émbolo	p1	Área 1	p2	Área 2	Carrera	F
mm	mm	Bar	m ²	Bar	m ²	mm	N
25	40	5	0.000765763	100	0.00125664	200	12183.49
30	50	5	0.001256637	100	0.0019635	200	19006.64

Pandeo por flexo compresión en el vástago por ecuación de Euler se determinó el diámetro del vástago. La longitud requerida para sostener la viga más pequeña, es de 1100 mm. El factor de condición de extremos es igual a 0.7. Considerando un factor de diseño de 1.67 y un factor de seguridad de 1.5.

E =Módulo de elasticidad del acero. (KPa) = $200 * 10^6 \text{ KPa}$

J = Momento polar de inercia. (m^2)

L_k =Longitud equivalente de pandeo (m)= $L_c = 0.7 * 110 = 0.77 \text{ m}$

k = Carga de pandeo (KN)= $1.67 * 2 * F = 1.67 * 2 * 12.26 = 40.95 \text{ KN}$

Entonces, despejando J de la ecuación de Euler se tiene:

$$J = \frac{L_k^2 * k}{\pi^2 * E} = \frac{0.77^2 * 40.95}{\pi^2 * 200 * 10^6} = 1.22995 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

Despejando el diámetro del momento polar de inercia:

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 * J}{\pi}} = \sqrt[4]{\frac{64 * 1.22995 * 10^{-8}}{\pi}} = 0.02237 \text{ m} = 22.37 \text{ mm}$$

La presión de regulación:

$$p_2 = \frac{F + p_1 * A_1}{A_2} = \frac{1.2 * 12.26 * 10^3 + 100 * 10^5 * 0.001256637}{0.0019635} = 138.92 \text{ Bar}$$

La presión necesaria en la descarga de la bomba, considerando una pérdida de presión de 3 bar a la descarga:

$$p_{bomba} = 138.92 + 3 = 141.92 \text{ Bar}$$

Presión de válvula limitadora, al 5% de sobrepresión:

$$p_{VS} = 141.92 * 1.05 = 149.016 \text{ Bar}$$

Considerando una velocidad de 10 segundos y con la carrera de 1100 mm, se tiene la velocidad media del émbolo igual a:

$$v = \frac{L}{t_e} = \frac{1.1}{10} = 0.11 \frac{m}{s}$$

Por continuidad, el caudal resultó:

$$\dot{Q}_c = A_2 * v_v = 0.0019635 * 0.11 = 2.1285 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 12.77 \frac{l}{min}$$

Volumen mínimo de aceite:

$$Vol_{dep} = 3 * Q_c = 3 * 12.77 \frac{l}{min} * 1 \text{ min} = 38.31 \text{ l}$$

Por el número de pistones de la mesa fija:

$$Vol_{mesa \text{ fija}} = 4 * 38.31 \text{ l} = 153.24 \text{ l}$$

Se estima que el motor que acciona la bomba debe entregar una potencia de:

$$Pot(W) = \frac{P_{op}(Bar) * Q_c}{0.6 * \eta_{vol} * \eta_{mec}} = \frac{149.016 \text{ Bar} * 12.77 \frac{l}{min}}{0.6 * 0.94 * 0.80} = 4217.50 \text{ W} = 5.70 \text{ HP}$$

Potencia de motor para bomba de 6 hp.

4.3.10. Cálculo hidráulico en sistema hidráulico de mesa regulable

La carga que soportarán los pistones es equivalente a la proporción del peso que soportará la mesa regulable más las vigas V-EF5. Se consideró que cada mesa regulable contará con 4 pistones.

$$F_{min} = 1114.47 + 158.6 = 1273.07 \text{ Kg}$$

Expresado en unidades de fuerza:

$$F_{\min} = 12488.82 \text{ N} = 12.49 \text{ KN}$$

Considerando una caída de presión de 4 bar, la fuerza máxima del pistón, es:

$$F = p_2 * A_2 - p_1 * A_1$$

$$F = 100 * 10^5 * A_2 - 5 * 10^5 * A_1 \geq 12.49 \text{ KN}$$

Considerando un diámetro mínimo de 30 mm en el vástago y 50 mm en cilindro, se obtiene una fuerza de 19.01 KN.

Tabla 18.

Secciones de elementos de mesa regulable. *Fuente: propia.*

Diámetro del vástago	Diámetro del émbolo	p1	Área 1	p2	Área 2	Carrera	F
mm	mm	Bar	m ²	Bar	m ²	mm	N
25	40	5	0.000765763	100	0.00125664	200	12183.49
30	50	5	0.001256637	100	0.0019635	200	19006.64

Pandeo por flexo compresión en el vástago por ecuación de Euler se determinó el diámetro del vástago. La longitud requerida para sostener la viga más pequeña, es de 1100 mm. El factor de condición de extremos es igual a 2. Considerando un factor de diseño de 1.67 y un factor de seguridad de 2.

$$E = \text{Módulo de elasticidad del acero. (KPa)} = 200 * 10^6 \text{ KPa}$$

$$J = \text{Momento polar de inercia. (m}^4\text{)}$$

$$L_k = \text{Longitud equivalente de pandeo (m)} = L_c = 2 * 0.20 = 0.4 \text{ m}$$

$$k = \text{Carga de pandeo (KN)} = 1.67 * 2 * F = 1.67 * 2 * 12.49 = 41.72 \text{ KN}$$

Entonces, despejando J de la ecuación de Euler se tiene:

$$J = \frac{L_k^2 * k}{\pi^2 * E} = \frac{0.4^2 * 24}{\pi^2 * 200 * 10^6} = 3.38 * 10^{-9} \text{ m}^4$$

Despejando el diámetro del momento polar de inercia:

$$\sqrt[4]{\frac{64 * J}{\pi}} = \sqrt[4]{\frac{64 * 3.38 * 10^{-9}}{\pi}} = 0.0162 \text{ cm} = 16.20 \text{ mm}$$

La presión de regulación:

$$p_2 = \frac{F + p_1 * A_1}{A_2} = \frac{1.2 * 12.49 * 10^3 + 100 * 10^5 * 0.001256637}{0.0019635} = 140.33 \text{ Bar}$$

La presión necesaria en la descarga de la bomba, considerando una pérdida de presión de 3 bar a la descarga:

$$p_{bomba} = 140.33 + 3 = 143.33 \text{ Bar}$$

Presión de válvula limitadora, al 5% de sobrepresión:

$$p_{VS} = 143.33 * 1.05 = 150.50 \text{ Bar}$$

Considerando una velocidad de 10 segundos y con la carrera de 200 mm, se tiene la velocidad media del émbolo igual a:

$$v = \frac{L}{t_e} = \frac{0.2}{10} = 0.02 \frac{m}{s}$$

Por continuidad, el caudal resultó:

$$\dot{Q}_c = A_2 * v_v = 0.0019635 * 0.02 = 3.927 * 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 2.36 \frac{l}{min}$$

Volumen mínimo de aceite:

$$Vol_{dep} = 3 * Q_c = 3 * 2.36 \frac{l}{min} * 1 \text{ min} = 7.08 \text{ l}$$

Por el número de pistones de la mesa fija:

$$Vol_{mesa \text{ fija}} = 12 * 7.08 \text{ l} = 84.96 \text{ l}$$

Se estima que el motor que acciona la bomba debe entregar una potencia de:

$$Pot(W) = \frac{P_{op}(Bar) * Q_c}{0.6 * \eta_{vol} * \eta_{mec}} = \frac{150.50 \text{ Bar} * 12.77 \frac{l}{min}}{0.6 * 0.94 * 0.80} = 2361.57 \text{ W} = 3.20 \text{ HP}$$

Potencia de motor para bomba de 4 hp.

Tabla 19.

Cálculo hidráulico y potencia de accionamiento. *Fuente: propia.*

N°	DESCRIPCIÓN	Fórmula	Unidades	Mesa fija	Mesa regulable
1	Fuerza requerida en pistón	$F = 100 * 10^5 * A_2 - 5 * 10^5 * A_1$	KN	12.26	12.49
2	Diámetro mínimo de vástago requerido	$d = \sqrt[4]{\frac{64 * J}{\pi}}$	mm	22.37	16.20
3	Presión de regulación	$p_2 = \frac{F + p_1 * A_1}{A_2}$	Bar	138.92	140.33
4	Presión en salida de bomba	$p_{bomba} = p_2 + \Delta p$	Bar	141.92	143.33
5	Presión de válvula limitadora	$p_{VS} = 1.05 p_{bomba}$	Bar	149.02	150.50
6	Velocidad de salida de vástago	$v = \frac{L}{t_e}$	m/s	0.11	0.02
7	Caudal requerido	$\dot{Q}_c = A_2 * v_v$	l/min	12.77	2.36
8	Volumen mínimo de recipiente	$Vol = N_{pistones} Vol_{dep}$	l	153.24	84.96
9	Potencia de accionamiento	$Pot(W) = \frac{P_{op}(Bar) * Q_c}{0.6 * \eta_{voi} * \eta_{mec}}$	Hp	5.70	3.20

4.3.11. Modelo y simulación en SolidWorks

Modelo de la estructura de mesa fija.

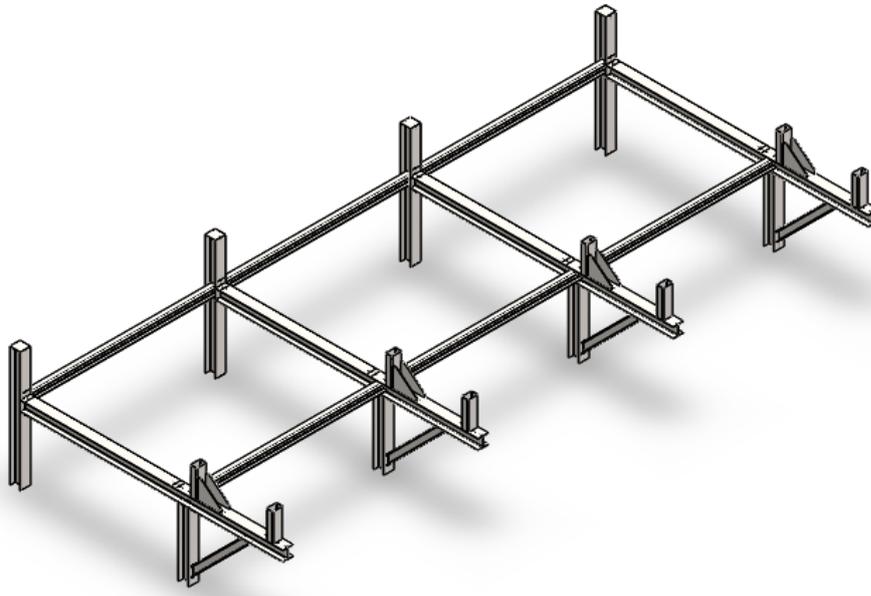


Figura 26. Modelo en SolidWorks mesa fija.

Modelo de la estructura de mesa regulable.

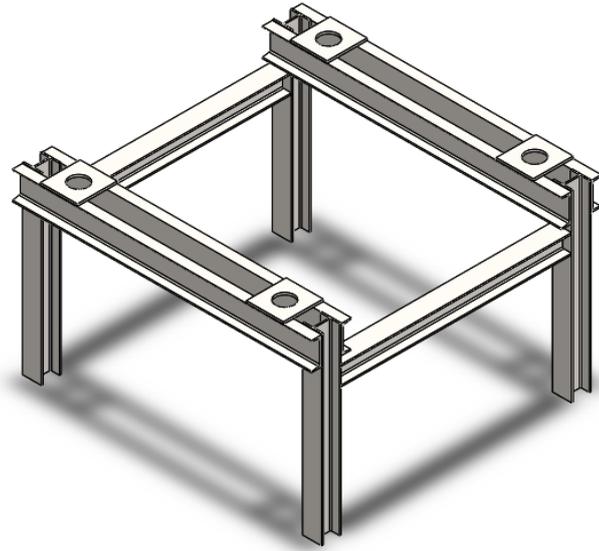


Figura 27. Modelo en SolidWorks mesa regulable.

Se simularon las combinaciones de carga más desfavorables para ambas mesas, se encontraron zonas activas de tensión, que por refinamiento de malla sucesivo se determinó que la zona activa de tensión es una singularidad en los resultados, por lo que se analizaron las zonas activas de tensión y se obtuvo el valor real del esfuerzo.

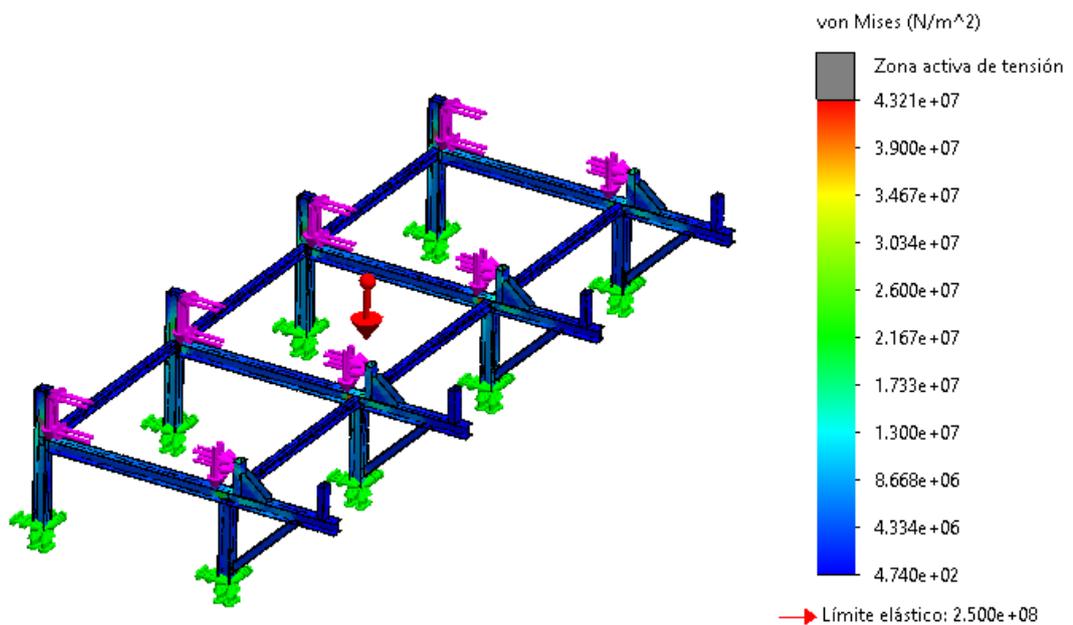


Figura 28. Esfuerzo de Von Mises en mesa fija en SolidWorks.

Esto se corroboró con los resultados obtenidos en SAP 2000.

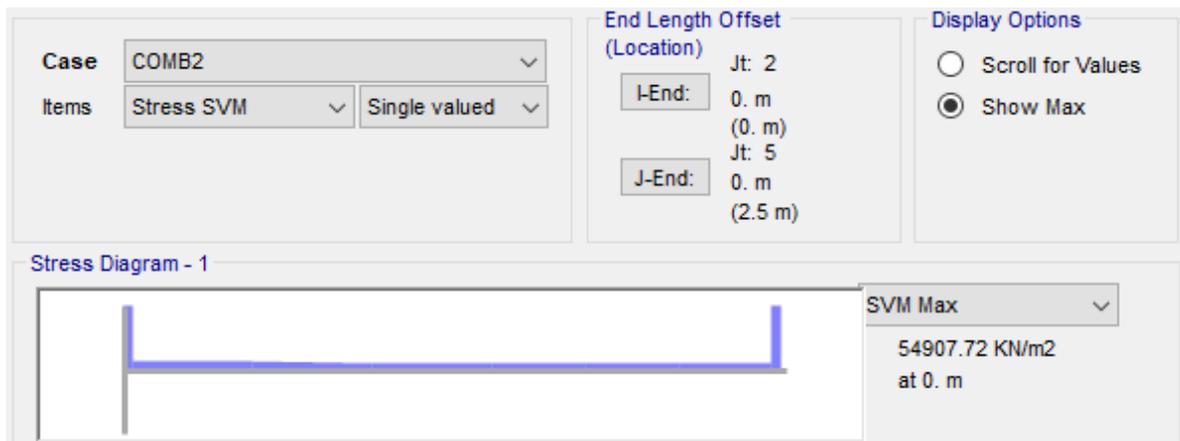


Figura 29. Esfuerzo de Von Mises en mesa fija SAP 2000.

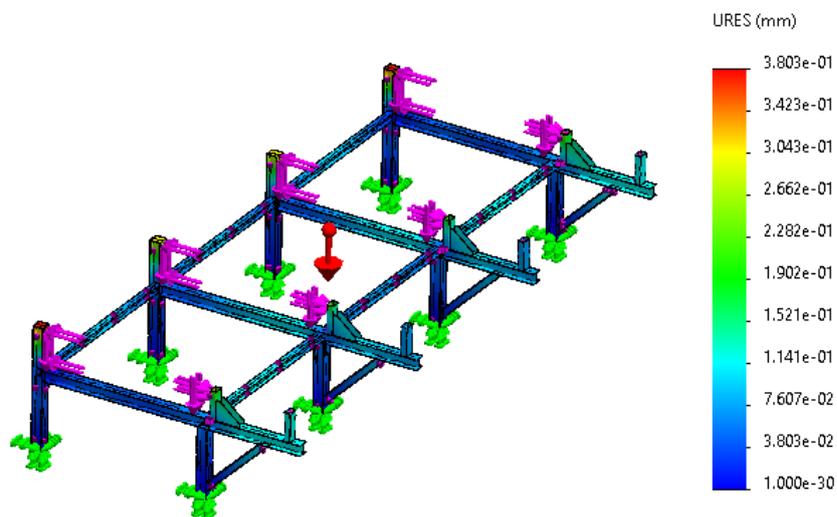


Figura 30. Deformación de mesa fija en SolidWorks.

Con estos resultados se determinó que los resultados obtenidos son correctos.

De igual modo se obtuvieron los resultados de la simulación en SolidWorks para la mesa regulable.

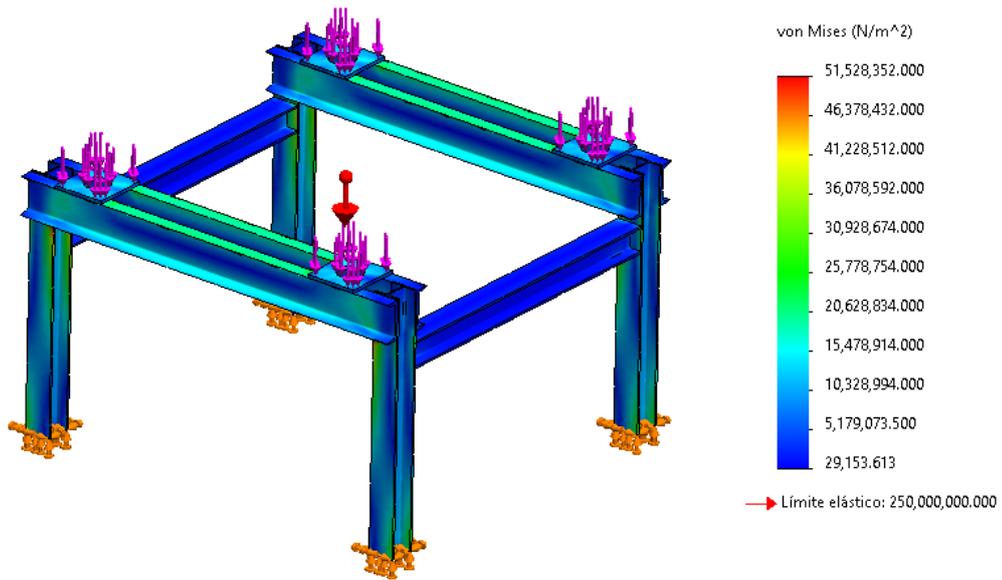


Figura 31. Esfuerzo de Von Mises en mesa regulable en SolidWorks.

El valor obtenido es cercano al valor calculado, en este caso no se encontraron zonas activas de tensión que puedan alterar los resultados por problemas de singularidad. De igual manera se corroboró en SAP 2000 y se obtuvo un valor mayor al de SolidWorks.

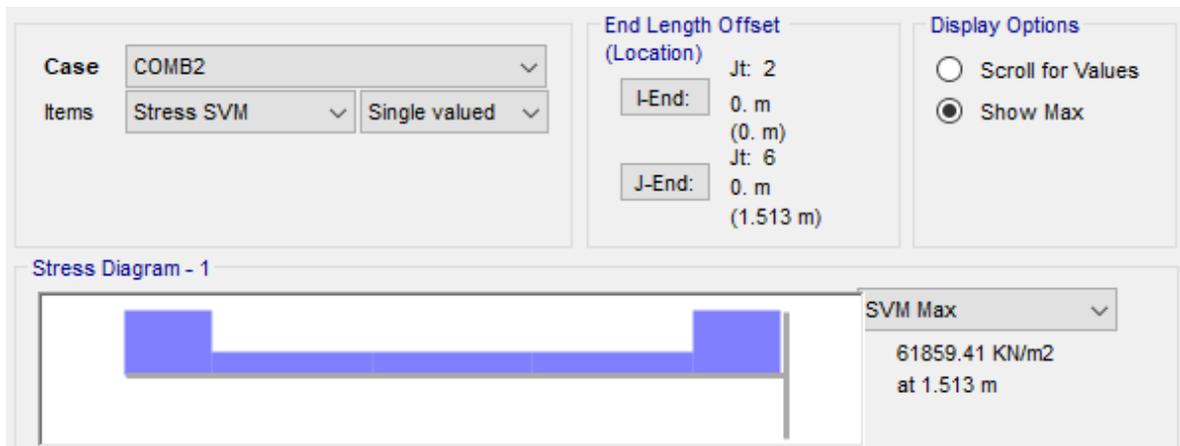


Figura 32. Esfuerzo de Von Mises en mesa regulable SAP 2000.

La deformación del elemento se muestra en la figura 63.

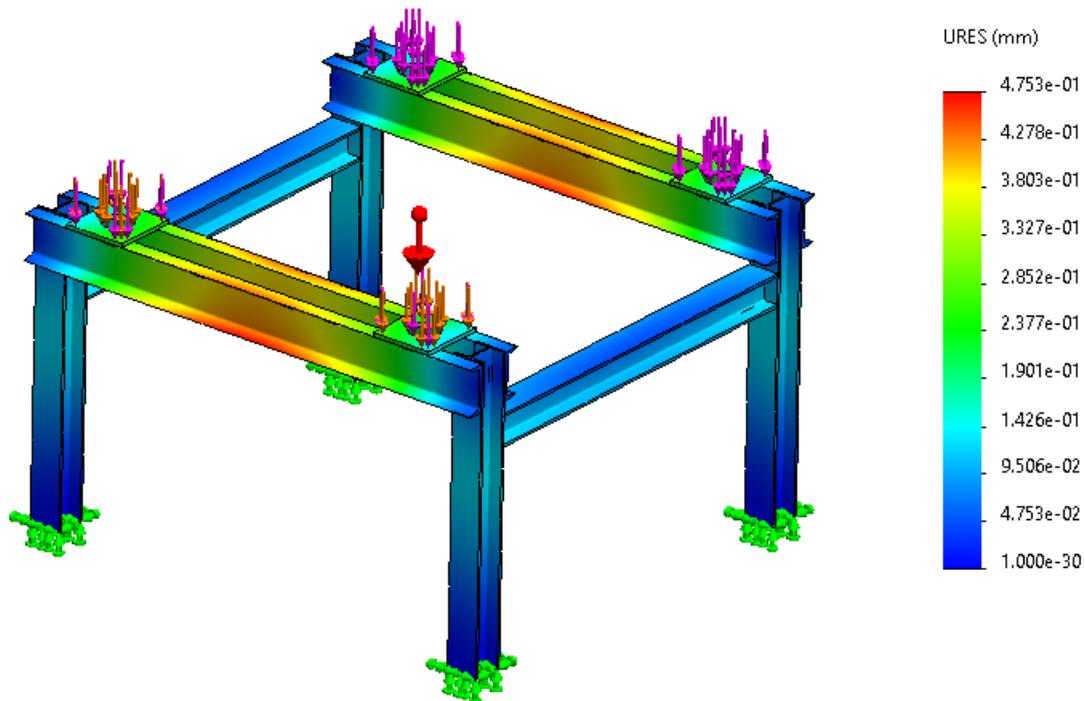


Figura 33. Deformación de mesa regulable en SolidWorks.

4.3.12. Dimensionamiento de elementos del sistema eléctrico

El sistema se propone con dos motores de accionamiento para ambas mesas.

La potencia para la mesa fija

$$P_{mf} = 6 \text{ hp} = 4474.2 \text{ W}$$

Corriente de fase

$$I = \frac{P_{mf}}{\sqrt{3}V\cos\varphi} = \frac{4474.2}{\sqrt{3} * 380 * 0.86} = 7.90 \text{ A}$$

Corriente de arranque del motor para motor WEG.

$$I_{arranque} = 54.80 \text{ A}$$

Sección con caída de tensión mínima de 2.5%.

$$S_u = \frac{2\rho lP}{\Delta UU} = \frac{2 * 2.268 * 10^{-8} * 5 * 4474.2}{(0.025 * 380) * 380} * 1000^2 = 0.28 \text{ mm}^2$$

Se considera un conductor THW-90 450/750 V - 10 mm².

$$I_{conductor} = 88 \text{ A}$$

De tabla 10 y 14 en NTP 370-301.

$$\text{Factor de temperatura} = 0.87$$

$$\text{Factor de agrupamiento} = 0.82$$

Entonces la corriente del conductor es:

$$I_B = 88 * 0.87 * 0.82 = 62.78 \text{ A}$$

Se cumple:

$$I_B > I_{\text{arranque}}$$

Protección magneto-térmico:

$$54.80 \text{ A} \leq I_{\text{magneto-térmico}} \leq 62.78 \text{ A}$$

Se selecciona magneto-térmico calibre normalizado de 63 A.

$$I_{mt} = 63 \text{ A}$$

La corriente de cortocircuito, coeficiente "c" según UNE-EN 60.909:2002, igual a 1.1 para tensiones menores a 1 KVA.

$$I_{cc \text{ máx}} = \frac{cU}{\sqrt{3}R} = \frac{1.10 * 380}{\sqrt{3} * 0.011} = 21939 \text{ A} = 21.94 \text{ KA}$$

Poder de corte de 50 KA, por lo tanto, se cumple la siguiente condición.

$$PdC_{63A-380V} = 50 \text{ KA} > I_{cc \text{ máx}} = 21.94 \text{ KA}$$

Corriente de regulación del guardamotor, en:

$$I_{gm} = I_{fase} * f_s = 7.44 * 1.25 = 9.3 \text{ A}$$

Relé con admisión de sobrecarga térmica de 12 - 18 A clase 10 A con resistencia a picos de tensión mayores a 6 KV. Los elementos eléctricos para mesa regulable se consideran los mismos que para mesa fija.

4.4. Análisis económico del proyecto

El análisis económico se determinó mediante el cálculo de los costos de suministro, fabricación, montaje, operación y mantenimiento.

4.4.1. Costos de adquisición del equipo

En la tabla 20 se muestra el costo de suministro de materiales.

Tabla 20.
Costo de suministro de materiales.

Costo de materiales	Cantidad	Unidades	Costo unitario	Unidades	Costo (\$)
Estructura mesa fija	1350	Kg	\$ 1.20	\$/kg	\$ 1,620.00
Estructura mesa regulable	2700	Kg	\$ 1.20	\$/kg	\$ 3,240.00
Pistones de 1.5 toneladas (carrera 1.1 m)	4	Pieza	\$ 650.00	\$/pieza	\$ 2,600.00
Pistones de 1.5 toneladas (carrera 0.2 m)	5	Pieza	\$ 450.00	\$/pieza	\$ 2,250.00
Motor eléctrico 6 hp	1	Pieza	\$ 950.00	\$/pieza	\$ 950.00
Motor eléctrico 4 hp	1	Pieza	\$ 690.00	\$/pieza	\$ 690.00
Accesorios eléctricos	1	Gb	\$ 320.00	\$/Gb	\$ 320.00
Accesorios hidráulicos	1	Gb	\$ 2,300.00	\$/Gb	\$ 2,300.00
Pintura (base y acabado)	65	m ²	\$ 6.50	\$/m ²	\$ 422.50
Pernería (grado 8.8)	1	Gb	\$ 150.00	\$/Gb	\$ 150.00
Agregados para base (zapatas)	1	Gb	\$ 1,850.00	\$/Gb	\$ 1,850.00
Costo sin IG.V.					\$ 16,392.50
IG.V (18%)					\$ 2,950.65
Costo + IG.V					\$ 19,343.15

En la tabla 21 se muestra el costo de fabricación y montaje.

Tabla 21.
Costo de fabricación y montaje.

Conceptos	Cantidad	Unidades	Costo unitario	Unidades	Costo (\$)
Estructura mesa fija	1350	Kg	\$ 1.90	\$/kg	\$ 2,565.00
Estructura mesa regulable	2700	Kg	\$ 1.90	\$/kg	\$ 5,130.00
Instalación de 16 pistones hidráulicos	16	Pieza	\$ 45.00	\$/pieza	\$ 720.00
Instalación de motores	2	Pieza	\$ 150.00	\$/pieza	\$ 300.00
Arenado y pintado	65	m ²	\$ 6.50	\$/m ²	\$ 422.50
Instalación accesorios eléctricos	1	Gb	\$ 200.00	\$/Gb	\$ 200.00
Instalación de accesorios hidráulicos	1	Gb	\$ 650.00	\$/Gb	\$ 650.00
Obras civiles	1	Gb	\$ 1,200.00	\$/Gb	\$ 1,200.00
Pruebas y puesta en marcha	1	Gb	\$ 250.00	\$/Gb	\$ 250.00
Costo sin IG.V.					\$ 11,437.50
IG.V (18%)					\$ 2,058.75
Costo + IG.V					\$ 13,496.25

El costo total de adquisición del equipo es:

$$C = 19,343.15 + 13,496.25 = \$ 32,839.40$$

4.4.2. Costos de funcionamiento del equipo

El costo de operación se calcula a través de las horas de operación y la potencia de los motores.

El tiempo de operación del equipo es de 8 horas diarias considerando 360 días al año y la potencia total como 10 hp.

$$P = 10 * 745.7 = 7457 W$$

$$P_e = 7457W * 360 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 21476 \frac{KWH}{\text{año}}$$

Se consideró un costo de energía en suministro trifásico 0.40 Soles/KWH

$$C_{operación} = 21476 \frac{KWH}{\text{año}} * 0.40 \frac{\text{Soles}}{KWH} = S/ 8,590.4$$

Considerando 3.8 como tasa de cambio.

$$C_{operación} = \$ 2543.21$$

El costo de mantenimiento se asumió como 20 % del costo de operación.

$$C_{mantenimiento} = 0.20 * 2543.21 = \$ 508.64$$

4.4.3. Determinación de ingresos

Horas de funcionamiento del equipo. Se consideró 2 soldadores en simultaneo que, con un rendimiento conjunto de 45 metros lineales por hora, para un largo de 9 metros se tienen 4 cordones con un total aproximado de 3 pases.

$$L_{soldadura} = 4 * 3 * 9 = 108 ml$$

Las horas de soldeo por viga:

$$HH_{soldeo-viga} = \frac{L_{soldadura}}{\eta_w} = \frac{108}{45} = 2.4 \text{ horas}$$

Las planchas de 2-1/2" se cortan a una velocidad de 400 mm/min esto es aproximadamente. Considerando que cada plancha fue habilitada cortando por ambos bordes, se tiene una longitud total de 54 metros de corte.

$$HH_{corte-viga} = \frac{54}{0.400 \frac{m}{min} * \frac{60 min}{1 hora}} = 2.25 \text{ horas}$$

El tiempo de maniobra en promedio sin el sistema:

$$HH_{\text{maniobra-viga}}(\text{actual}) = 3 \text{ horas}$$

$$HH_{\text{maniobra-viga}}(\text{proyectado}) = 0.5 \text{ horas}$$

Se considera que el tiempo para fabricación de estadia de la viga no estándar en el equipo más la maniobra para cambio de posición, es aproximadamente.

$$\begin{aligned} T_{\text{viga}}(\text{actual}) &= HH_{\text{soldeo-viga}} + H_{\text{maniobra-viga}} + HH_{\text{maniobra-viga}} \\ &= 7.65 \text{ horas/viga} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{viga}}(\text{proyectado}) &= HH_{\text{soldeo-viga}} + H_{\text{maniobra-viga}} + HH_{\text{maniobra-viga}} \\ &= 5.15 \text{ horas/viga} \end{aligned}$$

Al año se pueden fabricar, considerando una eficiencia del 80%.

$$N_{\text{vigas}}(\text{Actual}) = \frac{360}{7.65} * 0.8 = 37 \frac{\text{vigas}}{\text{año}}$$

$$N_{\text{vigas}}(\text{proyectado}) = \frac{360}{5.15} * 0.8 = 56 \frac{\text{vigas}}{\text{año}}$$

En la tabla 22 se muestra la proyección del ingreso adicional si se implementa el sistema de armado de vigas no estándar.

Tabla 22.
Ingreso adicional anual proyectado.

Conceptos	Peso	Cantidad	Unidades	Costo unitario	Unidades	Costo (\$)
Peso vigas no estándar fabricadas (actual).	12968.37	37.00	Kg	\$ 1.20	\$/kg	\$ 575,795.63
Peso vigas no estándar fabricadas (proyectado).	12968.37	56.00	Kg	\$ 1.20	\$/Gb	\$ 871,474.46

Diferencia de ingresos en 1 año \$ **295,678.84**

4.4.4. Valor actual neto y tasa interna de retorno

Se proyecta un flujo de caja a 5 años.

Tabla 23.
Flujo de caja para 5 años.

FLUJO DE CAJA PROYECTADO A 10 AÑOS						
AÑO	Tiempo 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Suministro (\$)	\$32,839.40					
Operación (\$)		\$2,543.21	\$2,543.21	\$2,543.21	\$2,543.21	\$2,543.21
Mantenimiento (\$)		\$508.64	\$508.64	\$508.64	\$508.64	\$508.64
Egreso total (\$)	\$32,839.40	\$3,051.85	\$3,051.85	\$3,051.85	\$3,051.85	\$3,051.85
INGRESO (\$)		\$295,678.84	\$295,678.84	\$295,678.84	\$295,678.84	\$295,678.84
SALDO (S)	-\$32,839.40	\$292,626.99	\$292,626.99	\$292,626.99	\$292,626.99	\$292,626.99

El valor presente neto, es:

$$VPN = \$ 971,772.74$$

El valor actual neto, es:

$$VAN = -32,839.40 + 971,772.74 = \$ 938,933.34$$

La tasa interna de retorno, es:

$$TIR = 791 \%$$

El proyecto es viable económicamente, con los valores actuales y proyectados.

V. DISCUSIÓN

La información obtenida luego del estudio de diseño del sistema electromecánico para fabricación de vigas de acero en Metal Sur del Perú.

5.1 el análisis conceptual es una etapa del diseño imprescindible, que se observado en esta investigación como un elemento de pre-diseño que permitió direccionar los esfuerzos del diseño a una alternativa específica. La alternativa 2 con pistones fue superior a las otras alternativas por la simplicidad constructiva; tanto en la estructura como en la cantidad de equipos y elementos requeridos. Se suma esto a la seguridad que brindan los sistemas hidráulicos a la hora de maniobrar cargas, cuando se diseña y controla adecuadamente. Algo que notar en esta investigación, es que hay poca investigación al respecto. Es decir, los esfuerzos de diseño se han concentrado en el sistema de soldeo, como hicieron los autores citados en los antecedentes. Pese a ello, la metodología adoptada no involucra el análisis conceptual, delimitando directamente el diseño a una alternativa sin estudiar otras. Esto trae consigo dos consecuencias, primero el tiempo de diseño posiblemente se redujo, sin embargo, no se exploraron otras soluciones posiblemente más efectivas o económicas. En el caso de Básuri y Bolaños si realizaron análisis conceptual, donde encontraron 7 funciones, con lo cual evaluaron 3 alternativas mediante 4 criterios; a diferencia de este trabajo que se consideraron las métricas como criterios de evaluación.

5.2 El planteamiento geométrico viene enlazado del análisis conceptual, es decir, en esta tesis se pudo observar que esta etapa del diseño es el paso de lo cualitativo a lo cuantitativo. Se encontró necesario que el equipo debe tener un valor mínimo y máximo de operación, ya que las características constructivas dependen de ello. El cálculo involucro un proceso iterativo de posiciones de los puntos de apoyo de las planchas de las vigas no estándar. Esto fue importante porque se debe contemplar los límites máximos de desviación en fabricación según AISC. En el caso de Basuri y Bolaños, su equipo se diseñó para trabajar con vigas con ancho entre 100 a 400 mm con espesor de patín igual a 20 mm, una altura de 200 hasta 700 mm con espesor de 20 mm. A diferencia que en esta tesis se consideró vigas de entre 400 mm y 800 mm de ancho con espesor de 63.5 mm y una altura de 1200 y 1300 mm con espesor máximo de alma igual a 38.1 0 mm.

5.3 El cálculo de los elementos constructivos se complementó con ayuda de SAP 2000 y SolidWorks, lo cual en este trabajo se observó que no son excluyentes entre sí. Debido a que en SolidWorks usualmente se generan zonas activas de tensión que podrían ser singularidades del programa, lo cual se verifica a través de iteración y control de mallado; de esta manera SAP 2000 cobró relevancia ya que fue un tercer elemento de comparación que permitió corroborar las singularidades en SolidWorks que afectan los resultados. Plasencia y Rivera utilizaron ANSYS para el diseño de un sistema de ensamble de vigas. ANSYS es un programa más sofisticado que SolidWorks y por ello es probable que los autores no han considerado un elemento más de comparación. Wu Xinbao y otros cuentan con una patente de diseño actualmente vigente sobre un sistema de soldeo que solo involucra la máquina y el soporte móvil de esta. En el caso de Tuomas Skriko describió la importancia de automatizar los procesos de fabricación de Vigas. Basuri y Bolaños utilizaron SolidWorks para la simulación de la estructura, sin embargo, no se consideró un tercer elemento de comparación. Por otro lado Noceda utilizó Autodesk Inventor donde obtuvo un valor máximo de esfuerzo de 77.53 MPa, similar a los 63.87 MPa obtenidos en esta tesis. Noceda calculó la potencia de accionamiento con un motor de 1.5 Hp, valor muy por debajo de los 10 Hp calculados. El diámetro de vástago mínimo que Noceda calculó también es menor que el valor obtenido en este trabajo.

5.4 El cálculo económico es importante porque permitió proyectar la rentabilidad del proyecto. Definitivamente, un equipo que asista la fabricación de vigas será de mucha utilidad; sin embargo, es necesario proyectar los beneficios de implementarlo. El rendimiento actual de fabricación de vigas es de 7.65 horas por viga y el proyectado, será de 5.15 horas por viga. El valor actual neto indica que el proyecto es viable y se recupera la inversión en el primer año de funcionamiento.

VI. CONCLUSIONES

Se diseñó un sistema electromecánico para fabricación de vigas de acero en Metal Sur del Perú, mediante análisis conceptual, el cálculo de resistencia de materiales, calculo hidráulico y eléctrico.

6.1 Se evaluaron alternativas de solución a partir del planteamiento de métricas calificadas en importancia del 1 al 5, valores que se asignaron mediante una encuesta en la empresa. Se plantearon valores objetivos que fueron direccionando la conceptualización del sistema requerido. Se estudiaron la estructura de funciones donde se identificaron: recibir, posicionar, sujetar, liberar y entregar carga. Se logró escoger la alternativa de solución 2 a través de una matriz morfológica y un cuadro de criterios ponderados; donde el valor ponderado de cada criterio se obtuvo de la importancia calificada en las métricas.

6.2 Se plantearon las dimensiones y las partes del sistema electromecánico; lo cual se alcanzó revisando el tamaño de viga estándar de mayor tamaño disponible en Perú y considerando un valor típico de las vigas fabricadas para puentes en la empresa. El distanciamiento entre apoyos se determinó mediante la evaluación de deflexión en SolidWorks de las planchas que conforman la viga, considerando los límites máximos de desviación en fabricación de la AISC. De esta manera se obtuvo un rango de operación, de vigas con altura de 1200 mm hasta 2300 mm y un ancho entre 400 y 800 mm. El espesor máximo de patín de viga no estándar, se consideró 63.5 mm y el espesor de alma máximo igual a 38.1 mm.

6.3 Se determinó la cinemática y sección de elementos constructivos a través del cálculo de cargas, combinaciones de cargas ASD, esfuerzos, criterios de aceptación, calculo hidráulico y eléctrico. El diseño mecánico en general se dividió en dos partes principales: mesa fija y mesa regulable. En las combinaciones solo se consideraron carga muerta, carga viva y sismo. El factor de diseño considerado fue de 1.67 y factor de seguridad calculado mínimo 2.95 en mesa fija y 2.34 en mesa regulable. Los pistones seleccionados son de 1.5 toneladas con carreras de 1100 mm y 400 mm. La potencia máxima requerida para el accionamiento del sistema es de 10 HP, cumpliendo con el valor esperado de los valores objetivos planteados en la abstracción conceptual. Se dimensionaron los accesorios

eléctricos considerando la corriente de arranque de los motores y la corriente de cortocircuito. Se simuló las mesas en SolidWorks y SAP2000 donde se corroboró los cálculos realizados.

6.4 Se realizó el análisis económico de la implementación del sistema de fabricación de vigas; calculando los costos de suministro, fabricación y montaje del equipo; los costos de funcionamiento y la proyección de ingresos considerando las horas hombre por viga necesarias para el sistema actual de fabricación versus la proyección del sistema propuesto. Se calcularon los indicadores VAN y TIR donde se concluye que el proyecto es viable económicamente.

Finalmente, se concluye que las secciones, dimensiones, elementos y accesorios del sistema se ajustan a los valores planteados como valores objetivos de cada métrica.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda lo siguiente:

- Realizar el diseño del sistema de soldeo automático para complementar el proceso completo de fabricación de vigas no estándar.
- Calcular el sistema considerando vigas más pesadas, para casos de estructuras de acero con factores de carga altos.
- Estudiar como alternativa un sistema de fabricación con la viga en posición vertical.
- Estudiar los efectos en las propiedades mecánicas, el fabricar la viga en posición horizontal vs en posición vertical.

VIII. REFERENCIAS

- Abedin, M., Mehrabi, A. B., Azizinamini, A., Ghosn, M., Nowak, A., & Ramesh Babu, A. (2022). Reliability evaluation of twin steel box girder bridges using a simplified method. *ELSEVIER*.
- Baca Urbina, G. (2010). *Fundamentos de ingeniería económica*. México: McGRAW-HILL.
- Barraza González, R. A. (2020). *Propuesta para diseño de máquina para el posicionamiento en el proceso de soldadura de vigas y columnas de acero*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Basuri Fernández, M. A., & Bolaños Naranjo, L. A. (2016). *Diseño y simulación de una máquina armadora y enderezadora de perfiles I de acero*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Beer, F. P., Jhonston, R. E., Dewolft, J. T., & Mazurek, D. F. (2009). *Mecánica de materiales*. México: McGrawHill.
- CAMPAÑA NENGER, C. V., & LINCANGO CRESPO, D. R. (2012). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CONFORMADORA SEMIAUTOMÁTICA DE VIGAS DE SECCIÓN ARMADA TIPO I, DESDE 200 mm HASTA 400mm DE PERALTE CON PROCESO DE SOLDADURA FCAW*. QUITO: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO.
- Castro Valero, G. J., & Sarmiento Carrasquero, F. (2020). *CÁLCULO Y DISEÑO DEL TRAMO DE UN PUENTE FERROCARRILERO DE SUPERESTRUCTURA METÁLICA EN EL VIGÍA, ESTADO MÉRIDA*. Mérida: Gaceta Técnica.
- Childs, P. (2004). *Mechanical Design*. New York: Elsevier.
- GARCIA, G. (2019). *Un proceso general de diseño en ingeniería mecánica*. Illnols: Instituto Tecnológico de Illnols.

- García, R., Rodríguez, N., Zubiri, O., Piccini, J., & Setien, I. (2022). 3D numerical simulation of GMAW Cold Metal Transfer using response surface methodology. *ELSEVIER*.
- Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2009). *Mecánica de materiales*. Santa Fe: Cengage Learning.
- Krar, S., Gill, A., & Smid, P. (2009). *Tecnología de máquinas herramientas*. México: Alfaomega.
- Mankiw, N. G. (2017). *Principios de economía*. México, D.F: Cengage Learning Editores, S.A.
- McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2019). *Diseño de estructuras de acero*. México: Alfaomega.
- MINEM. (1997). <http://www.minem.gob.pe/>. Obtenido de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/ruidominera.pdf>
- Montes Flores, N. A. (2014). *Criterios para determinar capacidad de producción en empresas de transformación PYMES*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Motofil. (2022). www.motofil.com. Obtenido de <https://www.motofil.com/es/solucion/85/soldar-vigas/>
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Education.
- Noceda Rodríguez, J. R. (2020). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA SOLDEO DE VIGAS CURVAS QUE MEJORE LA PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA METALMECÁNICA*. Callao: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO.
- NORMA E.020. (2020). *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES: CARGAS*. Lima: Gobierno del Perú.
- Placencia Morillo, J. D., & Rivera Carrera, M. G. (2020). *Diseño y simulación de operaciones de un sistema de ensamble de vigas IPE para la empresa Saurus Ecuador Cia. Ltda*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

- Pytel, A., & Kiusalaas, J. (2012). *Mechanics of Materials*. USA: Cengage Learning.
- Shigley. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. México: McGrawHill Interamericana.
- SKF. (23 de 05 de 2022). *SKF*. Obtenido de <https://www.skf.com/pe/products/rolling-bearings>
- Sociedad Nacional de Industrias. (2021). *Memoria 2020 - 2021*. LIMA: SNI.
- Thompson, K. (14 de Abril de 2022). *Metalconstructionnews*. Obtenido de Thompson Research Group: <https://www.metalconstructionnews.com/articles/2022-spoiler-alert-inflation-aint-going-away>
- Tuomas Skriko, Antti Ahola, & Timo Björk. (2022). *Descripción general de la producción digitalizada de estructuras de acero soldadas*. Springer Nature Suiza AG.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- Visionresearchreports. (12 de Abril de 2022). <https://www.marketwatch.com/>. Obtenido de <https://www.visionresearchreports.com/report/cart/38896>: <https://www.marketwatch.com/press-release/15041-billion-global-structural-steel-market-2021-to-2030---size-share-trends-analysis-report-2022-04-13>
- Waldun. (10 de 05 de 2022). *Hardfacingfty*. Obtenido de <https://www.hardfacingfty.com/es/h-beam-welding-machine/>
- wu xinbao, colmillo chang, haizhang shen, & Zhou Junjichen. (2014). *Soldador automático de la línea de producción de soldadura de haz (máquina de soldar)*. China.

IX. ANEXOS

9.1. Operacionalización de variables.

Tabla 2

variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	indicador	Escala de medición
Sistema electromecánico de vigas de acero.	V.I	Es un equipo que sirve para sujetar de manera segura las planchas de una viga no estándar para su fabricación a una capacidad requerida. La capacidad es la tasa de producción en un proceso determinado (Montes Flores, 2014) Las características técnicas del sistema se describen a través de métricas. Las métricas sirven para asignar valores objetivos en el diseño de productos. (Ulrich & Eppinger, 2013)	Es un equipo que permite la fabricación de una cantidad de vigas por jornada según las especificaciones de funcionamiento del equipo.	Cantidad de vigas	Vigas/día	Razón.
				Tiempo de fabricación de vigas	Tiempo con el sistema / tiempo sin el sistema	< 1
				Horas hombres	HH con el sistema/ HH sin el sistema	< 1
				Geometría	Longitud	12 metros
				Mecanismo	Factor de servicio	> 1.25
				Estructura	Factor de seguridad	> 1.67

9.2. Memoria de cálculo de cargas en mesa fija

9.2.1. Cálculo de cargas en mesa fija

Se realizó el diagrama de cuerpo libre de la plancha del patín, con las fuerzas para deformar el elemento por los pistones de mesa fija.

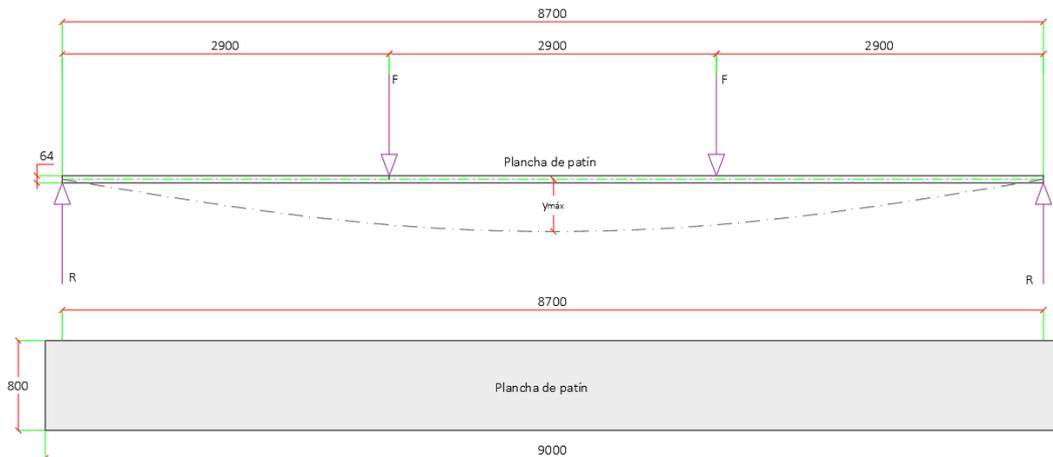


Figura 34. Diagrama de cuerpo libre patín para cálculo de fuerza para enderezar.

Fuente: propia.

Momento de inercia de la plancha del patín (ala):

$$I = \frac{b^3 h}{12} = \frac{0.0635^3 * 0.8}{12} = 1.7070 * 10^{-5} m^4$$

Fuerza mínima requerida para producir la deflexión máxima de 6.35 mm:

$$F_{min} = \frac{24y_{max}EI}{a(4a^2 - 3l^2)}$$

$$F_{min} = \frac{24 * 0.00635 * 200 * 10^9 * 1.7070 * 10^{-5}}{2.9 * (4 * 2.9^2 - 3 * 8.7^2)} = -927.53 N$$

Momento flector máximo

$$M = Fa = 927.53 * 2.9 = 2689.83 Nm$$

Esfuerzo permisible para no superar la fluencia

$$\sigma_{perm} = \frac{S_y}{1.67} = \frac{345.31}{1.67} = 206.77 MPa$$

Verificación del esfuerzo normal para enderezar la plancha:

$$\sigma_M = \frac{2689.83 * \frac{0.0635}{2}}{1.7070 * 10^{-5}} = 5.00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_M < \sigma_{perm}$$

Fuerza de fricción que debe superar el pistón hidráulico para sacar del reposo a la plancha.

$$F_f = \mu_s mg = 0.15 * \frac{12968.37}{4} * 9.81 = 4470.74 \text{ N}$$

Fuerza total que el pistón debe ejercer como mínimo.

$$F_p = |F_{min}| + F_f = |-927.53| + 4470.74 = 5698.27 \text{ N}$$

Expresado en Kg

$$F_p = 580.86 \text{ Kg}$$

Se consideró que cada pistón será de 1 tonelada.

$$F_p = 1000 \text{ Kg}$$

Carga muerta (D): Es el peso de la estructura más el peso de los equipos montados sobre esta, los ejes con mayor carga son el B y C ya que soportan mayor proporción de la carga.

$$D = W_{\text{mesa fija}} + W_{\text{equipos}} = 244 + 55.72 + 30 = 326.72 \text{ Kg}$$

Carga viva (L): El peso que soportará la mesa fija, considerando que, finalizado el soldeo de la viga no estándar, la mesa regulable saldrá de operación y toda la carga la resistirá la mesa fija. Se consideró un factor de carga de 1.10 y un factor de impacto de 1.25, la carga de la viva de la mesa fija sería. Se muestran los valores para cada eje de la mesa fija.

$$W_{\text{viga}} = 1440.93 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 3 \text{ m} = 4322.79$$

$$L_1 = W_{\text{viga}} * 1.1 * 1.25 = 5943.84 \text{ Kg}$$

Se consideró que cada pistón será de 1 tonelada.

$$L_2 = 1.25 * F_p = 1250 \text{ Kg}$$

Carga de sismo (E): Es una proyección de la carga sísmica según la norma E.030.

- Factor Z de la zona 3

$$Z = 0.45$$

- Factor de uso

$$U = 1.3$$

- Periodo fundamental de vibración

$$T = \frac{h_n}{C_t} = \frac{1.80}{35} = 0.051 \text{ s}$$

- Considerando un suelo blando

$$T_p = 1 \text{ s}$$

Se cumple:

$$T = 0.233 < T_p = 1$$

- El factor de amplificación sísmica es:

$$C = 2.5$$

- El factor de suelo S, suelo blando

$$S_2 = 1.20$$

- Coeficiente básico de reducción

$$R_0 = 4$$

- Factores de irregularidad

$$I_a = 0.90$$

$$I_p = 0.90$$

- Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas

$$R = R_0 I_a I_p = 4 * 0.90 * 0.90 = 3.24$$

- Relación C/R

$$\frac{C}{R} = \frac{2.50}{3.24} = 0.772 \geq 0.11$$

- Fuerza sísmica horizontal

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = \frac{0.45 * 1.3 * 2.5 * 1.20}{3.24} * 326.72 = 176.97 \text{ Kg}$$

9.2.2. Cálculo de cargas en mesa regulable

Al igual que en la mesa fija se definieron 3 tipos de cargas sobre la mesa regulable: muerta, viva y sismo. Se evaluó la mesa central G y H ya que es la que soportará más carga que la mesas en los extremos.

Carga muerta (D): peso de la estructura por marco, más el peso de los equipos.

$$D = W_{\text{mesa regulable}} + W_{\text{vigas}} + W_{\text{equipos}} = 155.61 + 317.20 + 30 = 502.81 \text{ Kg}$$

Carga viva (L): se consideró el escenario que la viga no estándar es completamente soportada por las mesas regulables. También fue considerado un factor de carga de 1.10 y un factor de impacto de 1.25, la carga de la viva de la mesa fija sería.

$$W_{\text{viga}} = 1440.93 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * \frac{4.5}{2} \text{ m} = 3242.09 \text{ Kg}$$

$$L = W_{\text{viga}} * 1.1 * 1.25 = 4457.88 \text{ Kg}$$

Carga de sismo (E): Se considera el mismo efecto sísmico de la mesa fija pero multiplicado por la masa de uno de los marcos de la mesa regulable.

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = \frac{0.45 * 1.3 * 2.5 * 1.20}{3.24} * 502.81 = 272.36 \text{ Kg}$$

9.2.3. Combinaciones de cargas

Para criterio ASD según norma E.020 artículo 19, se deben considerar las siguientes combinaciones de cargas. Se obviaron las combinaciones que involucran cargas despreciables sobre la estructura de la mesa fija.

Combinación 1: D

- En mesa fija

$$D = 244 + 55.72 + 30 = 326.72 \text{ Kg}$$

- En mesa regulable

$$D = 155.61 + 317.20 + 30 = 502.81 \text{ Kg}$$

Combinación 2: D + L

- En mesa fija

$$D + L_1 + L_2 = 326.72 + 5943.84 + 1250 \text{ Kg}$$

- En mesa regulable

$$D + L = 502.81 + 4457.88 \text{ Kg}$$

Combinación 3: D + 0.7E

- En mesa fija

$$D = 1418 + 0.7 * 176.97 = 1418 + 123.88 \text{ Kg}$$

- En mesa regulable

$$D = 700.49 + 0.7 * 272.36 = 700.49 + 190.65 \text{ Kg}$$

9.2.4. Cálculo de reacciones y momentos

Las reacciones y fuerzas internas se calcularon por separado para mesa fija y mesa regulable:

- Combinación 1 en mesa fija

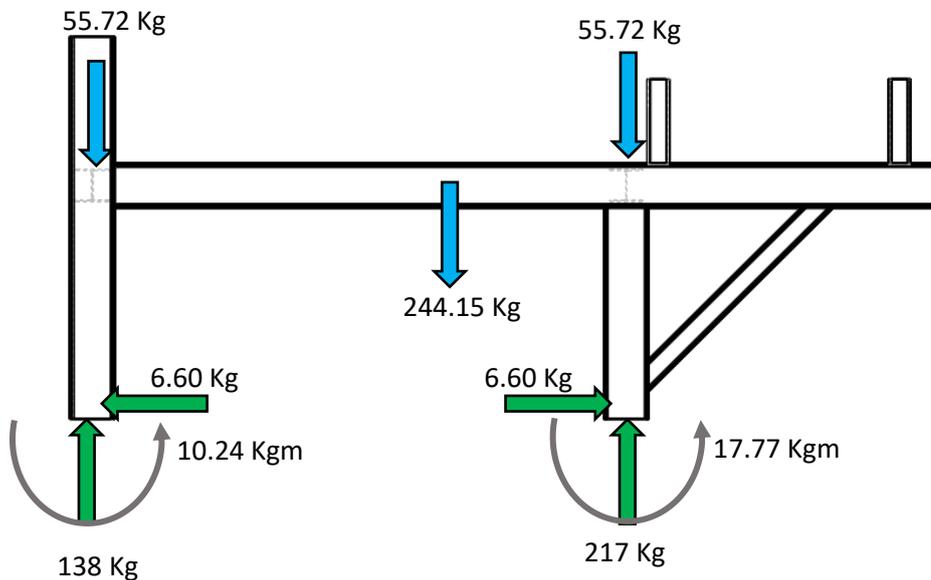


Figura 35. Reacciones en mesa fija combinación 1. Fuente: propia.

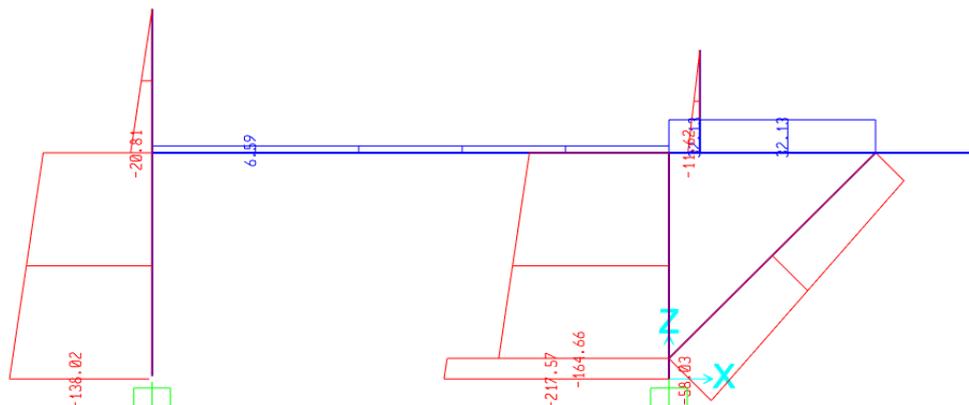


Figura 36. Fuerza normal en mesa fija combinación 1. Fuente: propia

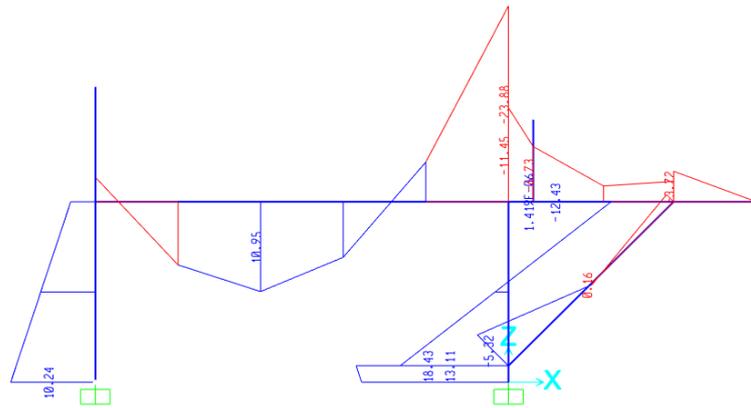


Figura 37. Momento flector en mesa fija combinación 1. Fuente: propia

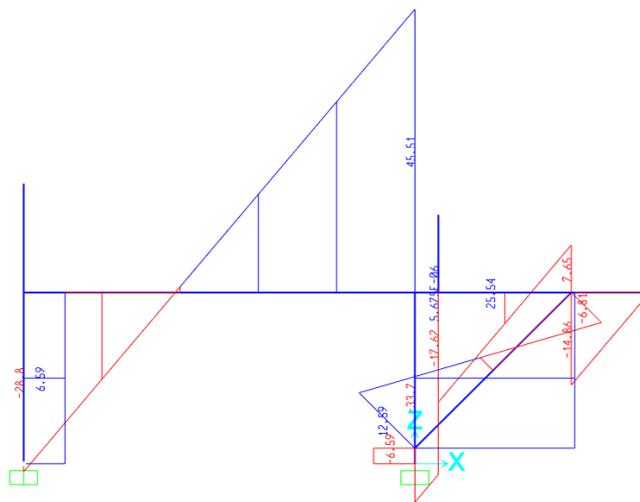


Figura 38. Fuerza cortante en mesa fija combinación 1. Fuente: propia.

- Combinación 2 en mesa fija

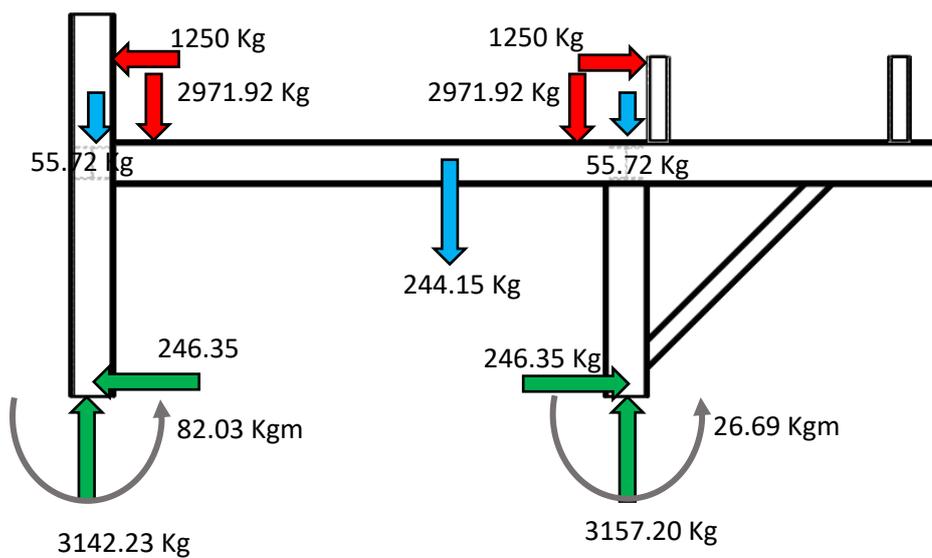


Figura 39. Reacciones en mesa fija combinación 2. Fuente: propia.

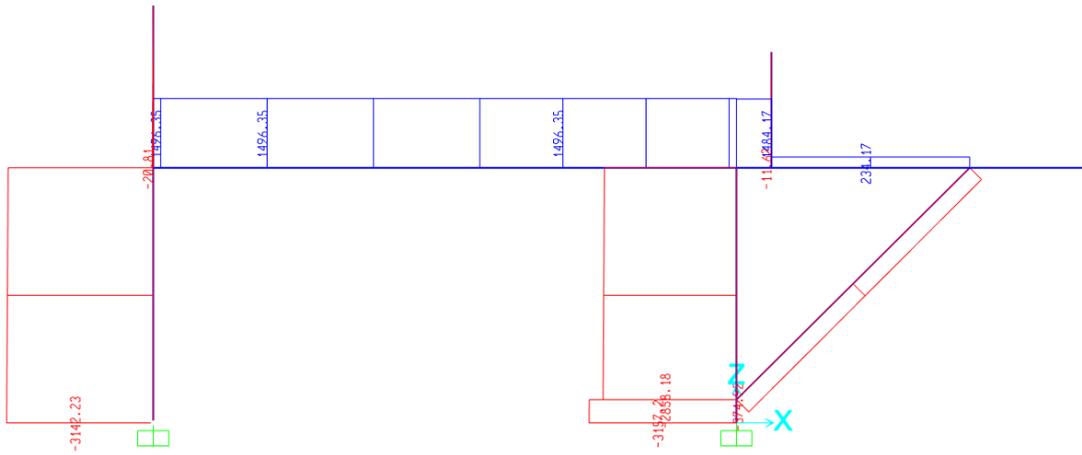


Figura 40. Fuerza normal en mesa fija combinación 2. Fuente: propia

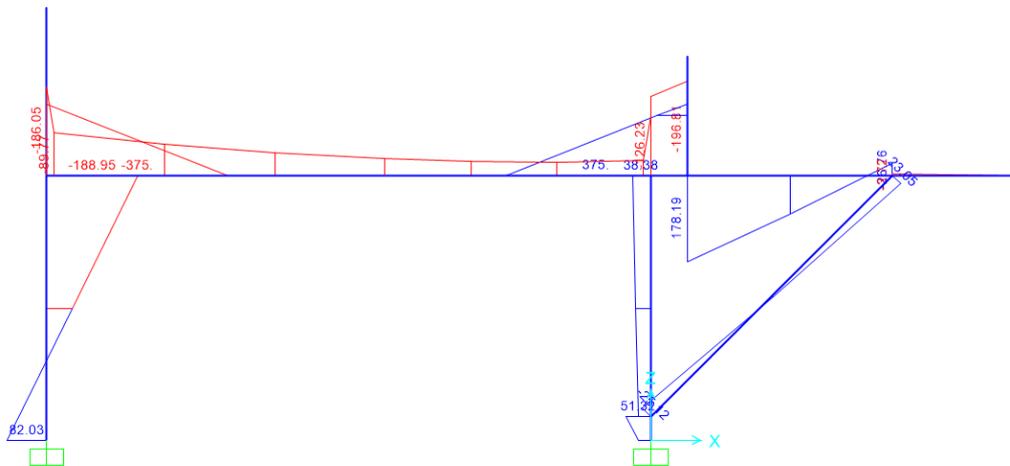


Figura 41. Momento flector en mesa fija combinación 2. Fuente: propia

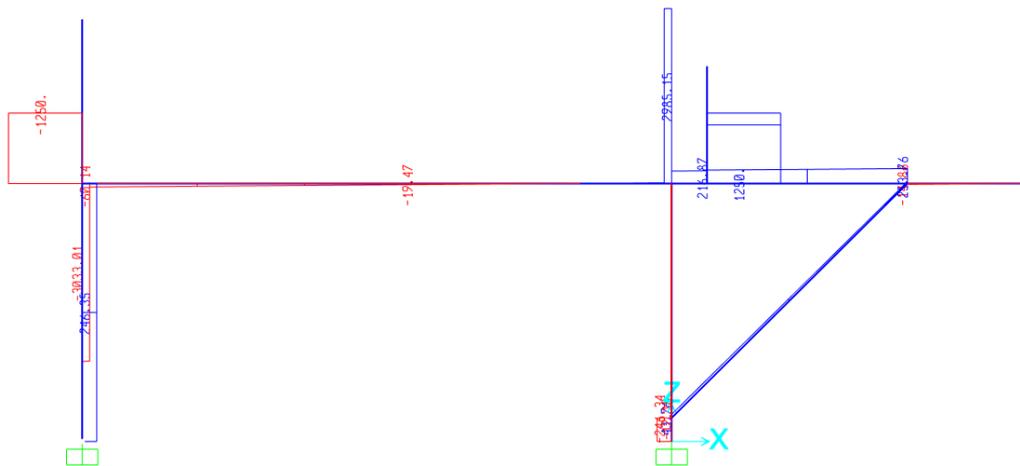


Figura 42. Cortante en mesa fija combinación 2. Fuente: propia

- Combinación 3 en mesa fija

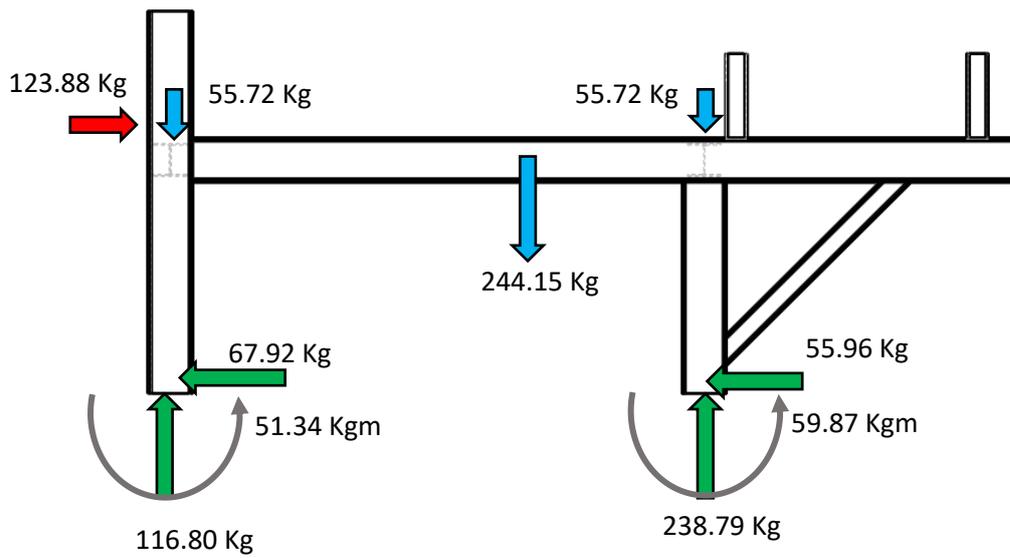


Figura 43. Reacciones en mesa fija combinación 3. Fuente: propia.

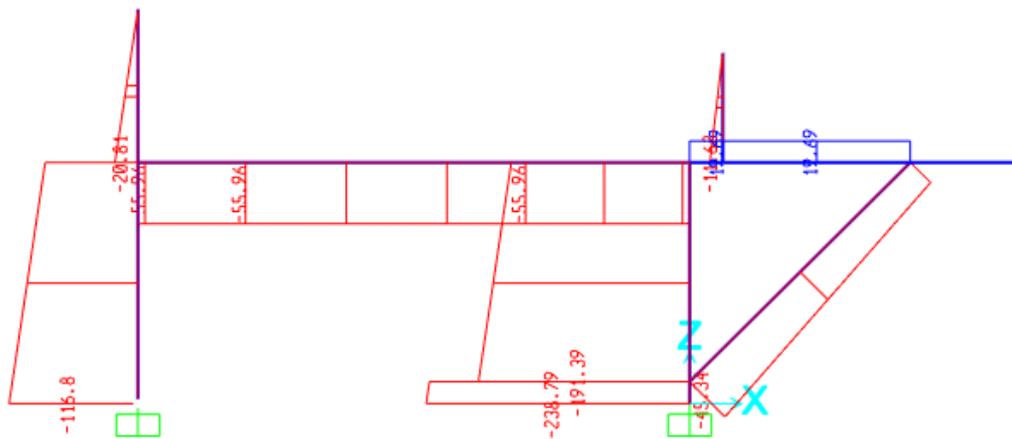


Figura 44. Fuerza normal en mesa fija combinación 3. Fuente: propia

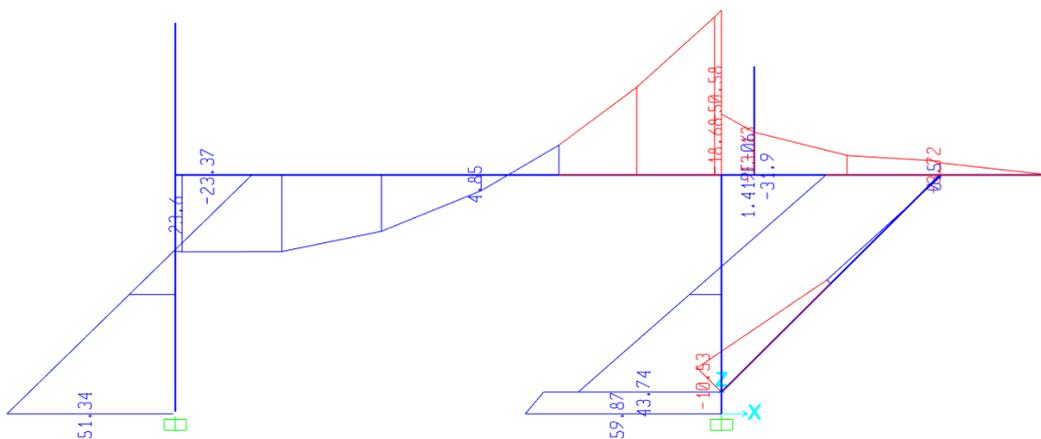


Figura 45. Momento flector en mesa fija combinación 3. Fuente: propia

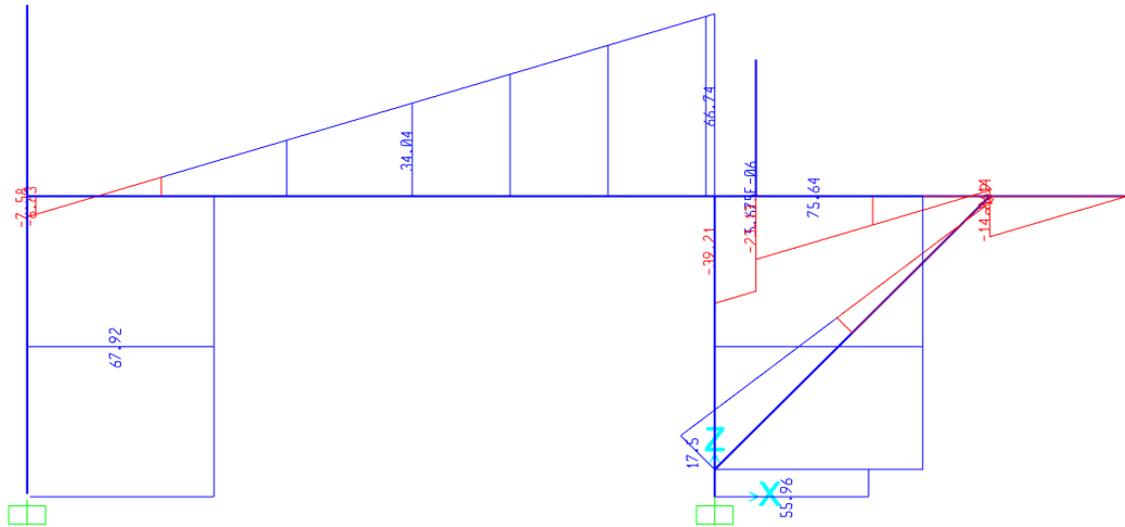


Figura 46. Cortante en mesa fija combinación 3. Fuente: propia

Las reacciones y las fuerzas internas de la mesa regulable, se muestra a continuación:

- Combinación 1 en mesa regulable

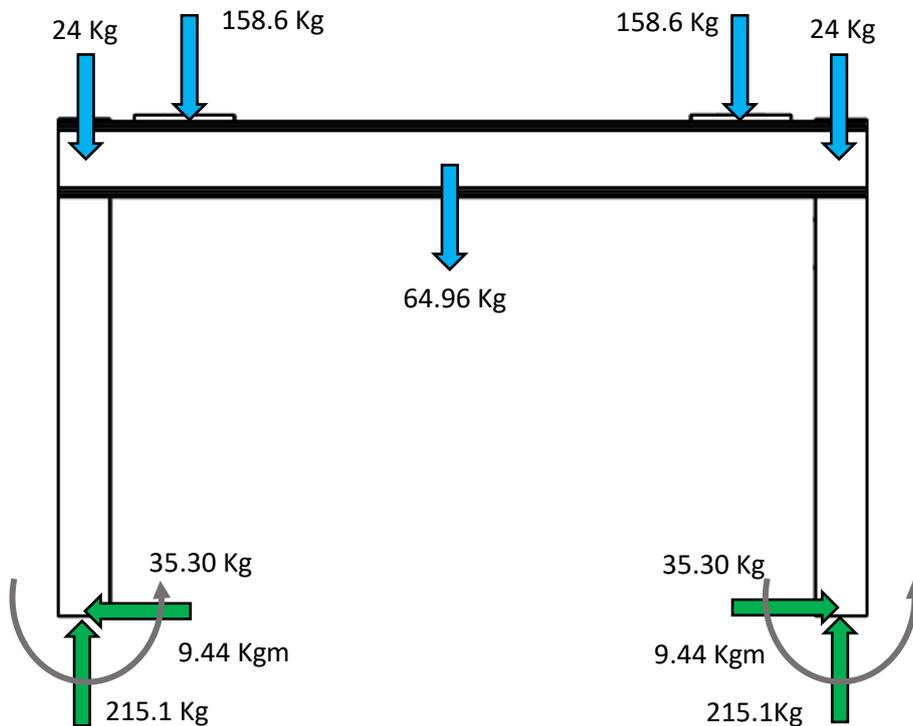


Figura 47. Reacciones en mesa regulable combinación 1. Fuente: propia.

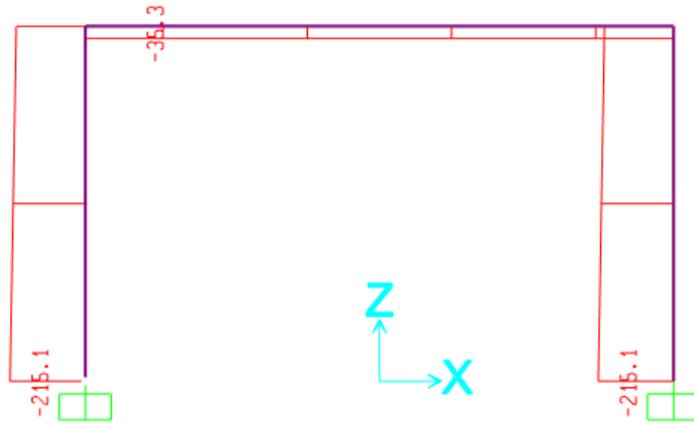


Figura 48. Fuerza normal en mesa regulable combinación 1. *Fuente: propia*

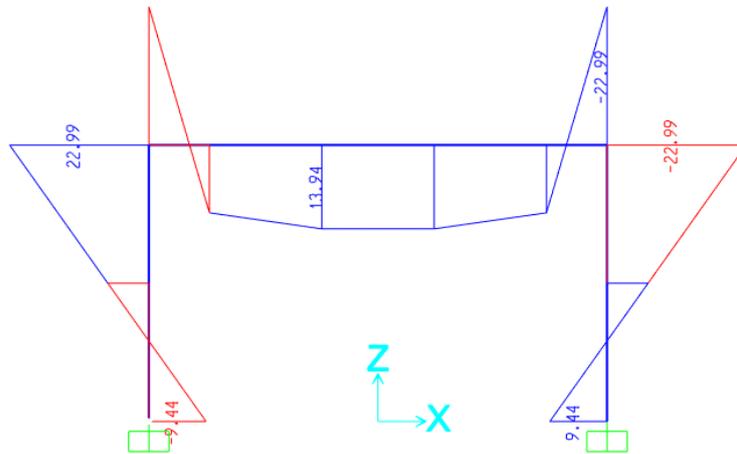


Figura 49. Momento flector en mesa regulable combinación 1. *Fuente: propia*

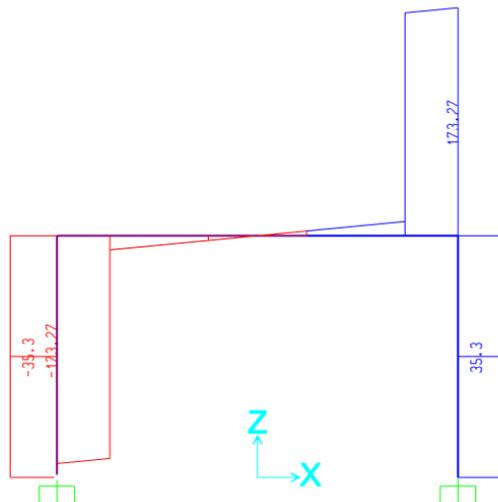


Figura 50. Fuerza cortante en mesa regulable combinación 1. *Fuente: propia.*

- Combinación 2 en mesa regulable

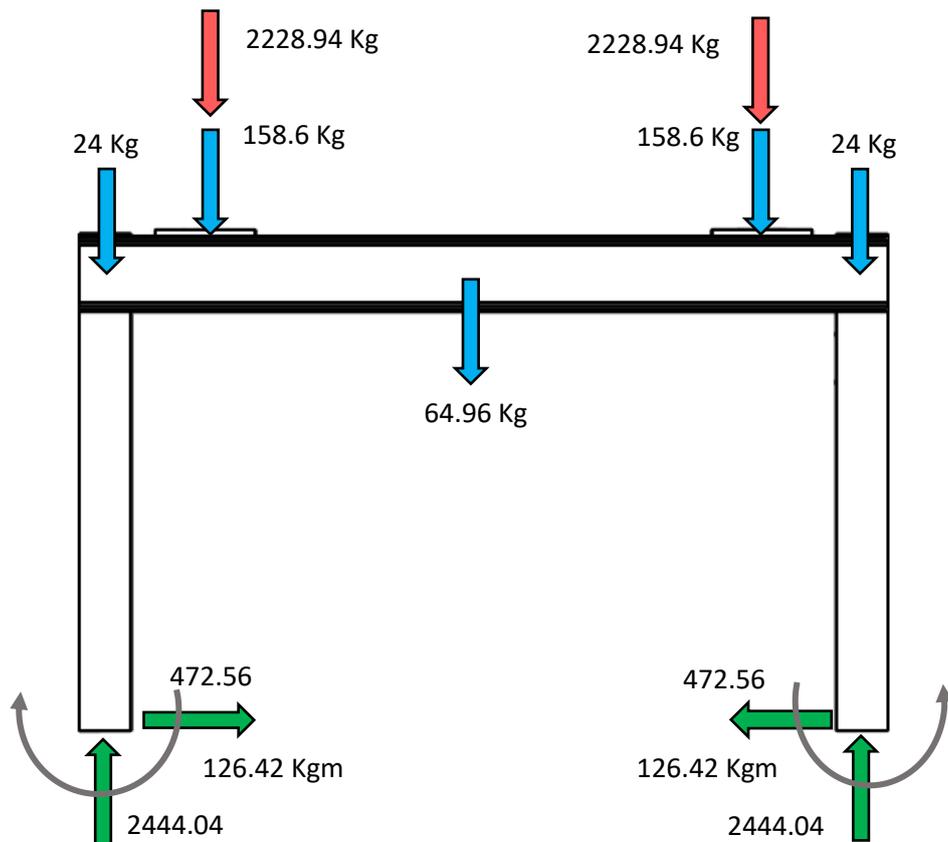


Figura 51. Reacciones en mesa regulable combinación 2. Fuente: propia.

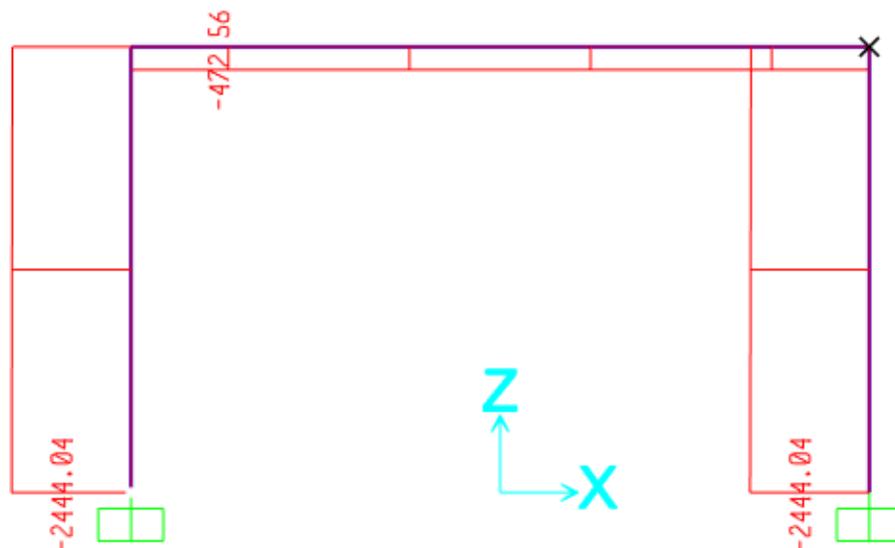


Figura 52. Fuerza normal en mesa regulable combinación 2. Fuente: propia

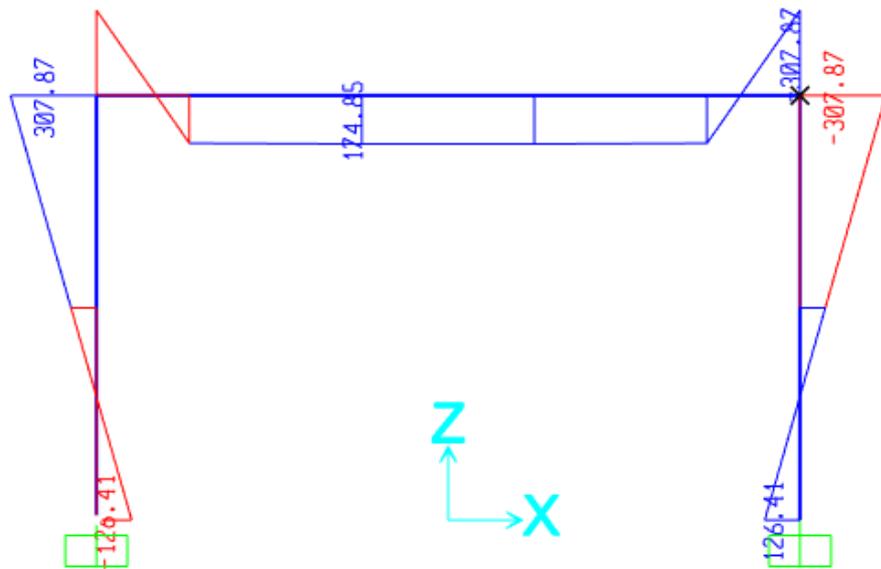


Figura 53. Momento flector en mesa regulable combinación 2. Fuente: propia

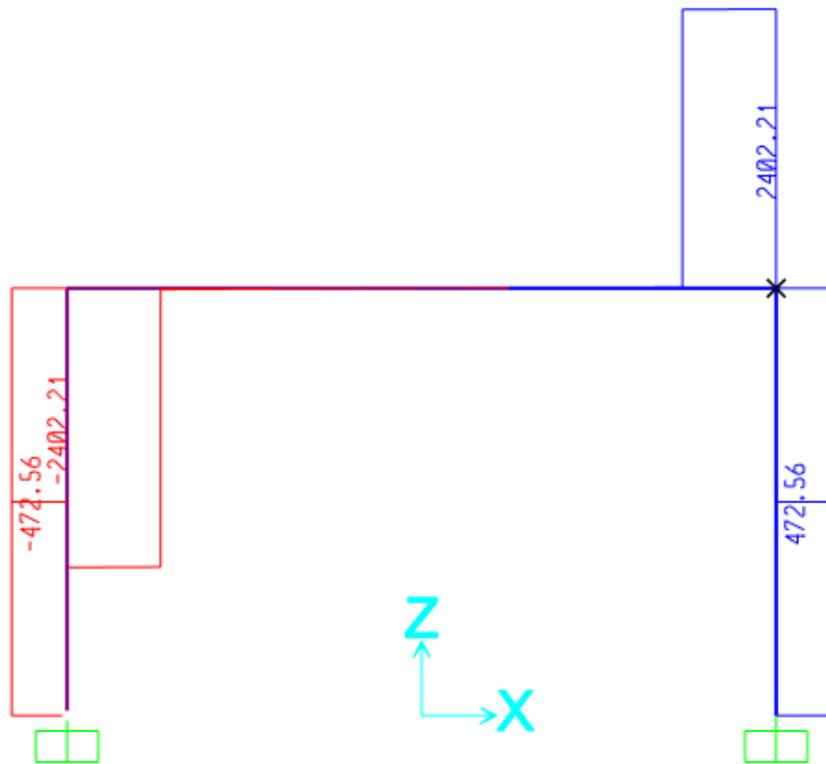


Figura 54. Cortante en mesa regulable combinación 2. Fuente: propia

- Combinación 3 en mesa regulable

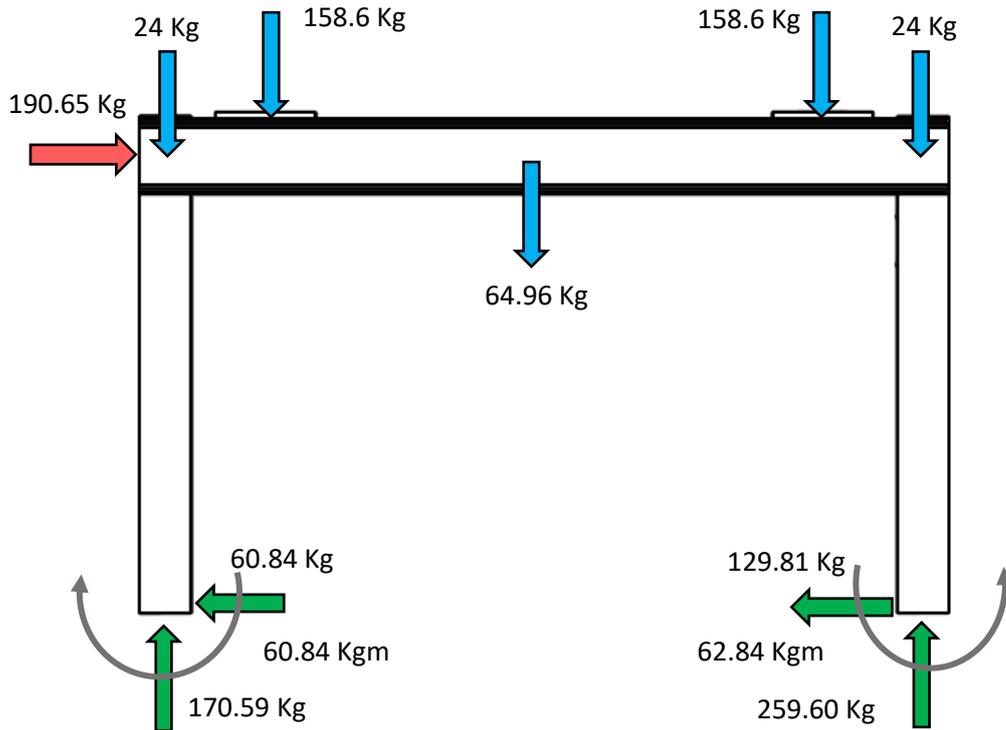


Figura 55. Reacciones en mesa regulable combinación 3. Fuente: propia.

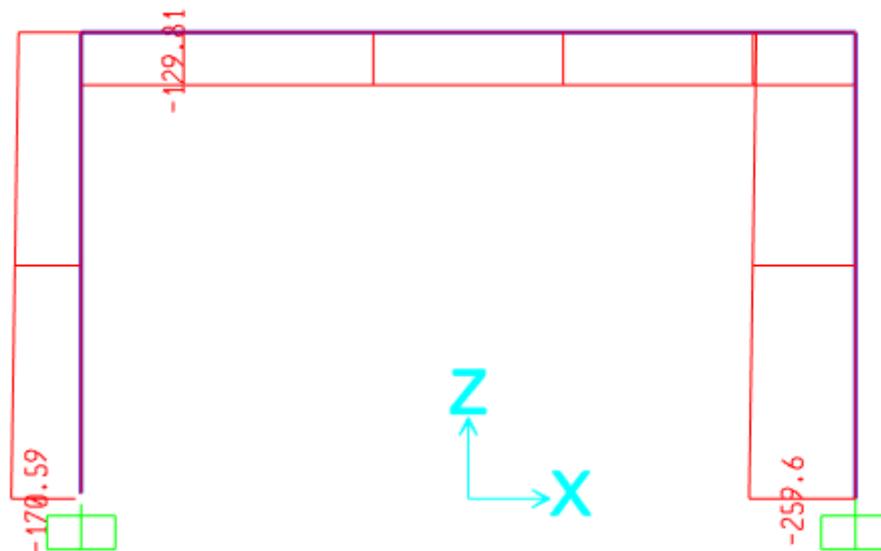


Figura 56. Fuerza normal en mesa regulable combinación 3. Fuente: propia

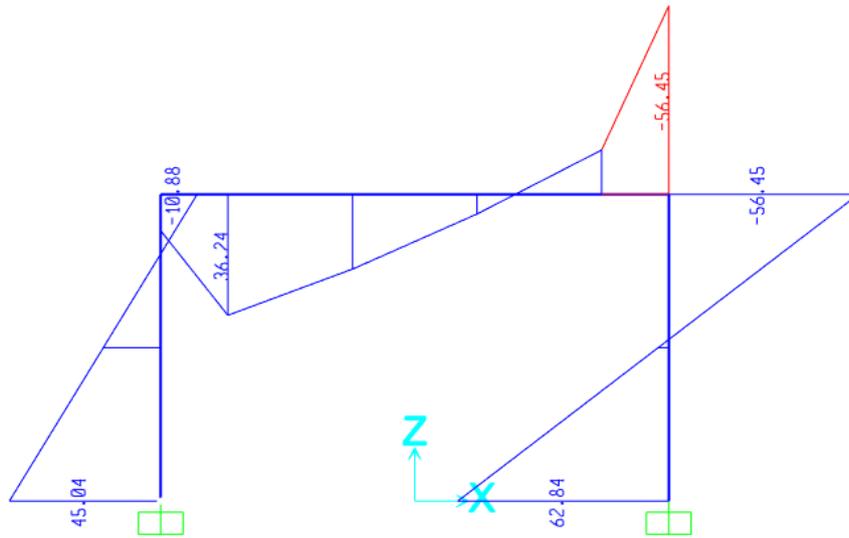


Figura 57. Momento flector en mesa regulable combinación 3. Fuente: propia

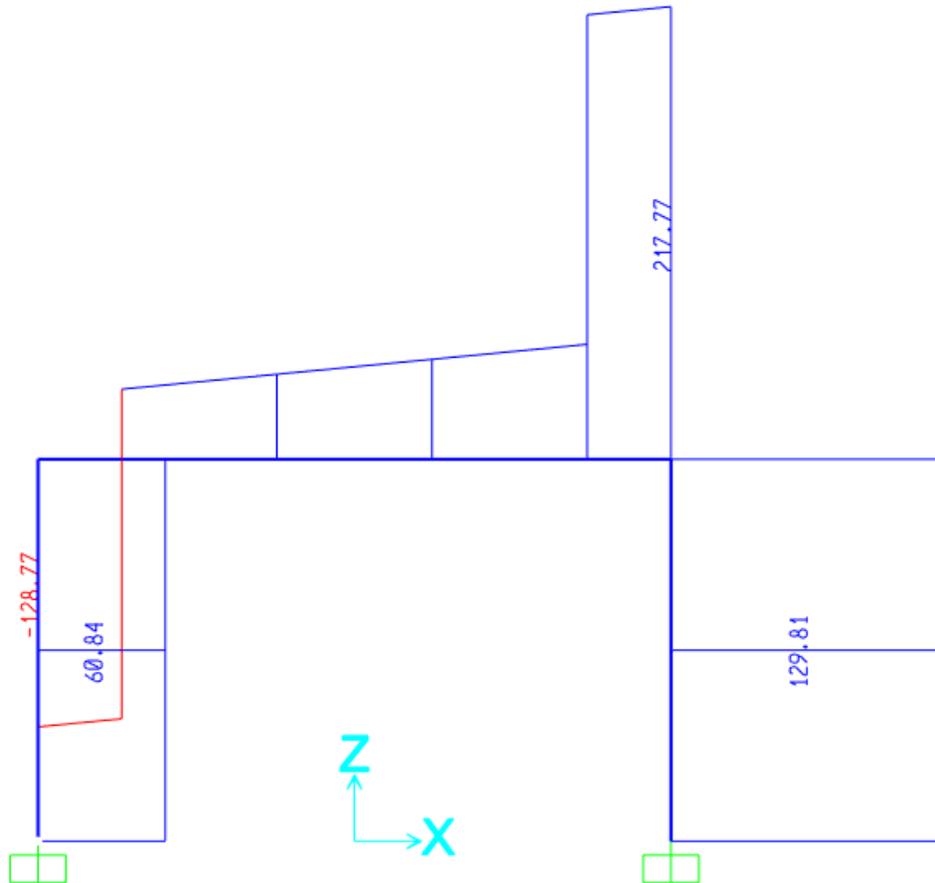


Figura 58. Cortante en mesa fija combinación 3. Fuente: propia

9.3. Valores máximos de desviación en fabricación

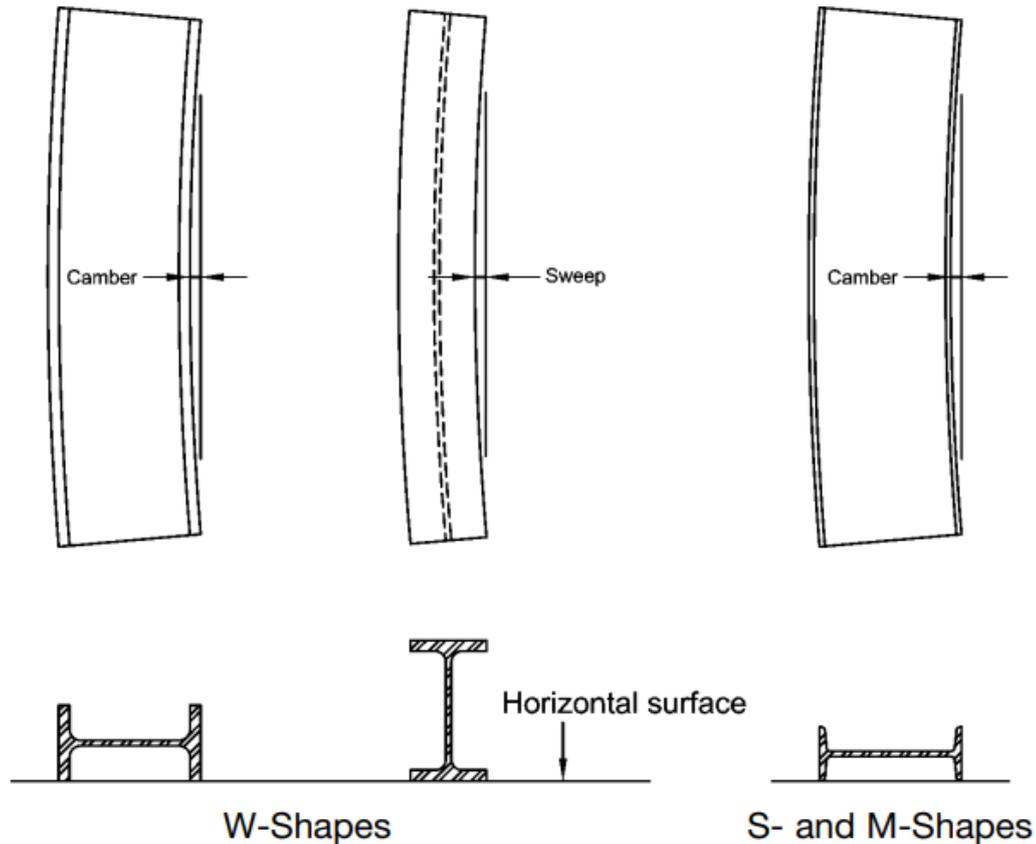
9.3.1. Deflexión máxima alma de vigas W

Deflexión permisible en plancha de alma de vigas W según AISC, tabla 1-22.

<p style="text-align: center;">Table 1-22 ASTM A6 Tolerances for W-Shapes and HP-Shapes</p>							
Permissible Cross-Sectional Variations							
Nominal Depth, in.	A Depth at Web Centerline, in.		B Flange Width, in.		T + T' Flanges Out of Square, Max. in.	E ^a Web Off Center, in.	C, Max. Depth at any Cross-Section over Theoretical Depth, in.
	Over	Under	Over	Under			
To 12, incl.	1/8	1/8	1/4	3/16	1/4	3/16	1/4
Over 12	1/8	1/8	1/4	3/16	3/16	3/16	1/4
Permissible Variations in Length							
Nominal Depth ^b , in.	Variations from Specified Length for Lengths Given, in.						
	30 ft and Under		Over 30 ft				
	Over	Under	Over		Under		
Beams 24 in. and under	3/8	3/8	3/8 plus 1/16 for each additional 5 ft or fraction thereof		3/8		
Beams over 24 in. All columns	1/2	1/2	1/2 plus 1/16 for each additional 5 ft or fraction thereof		1/2		
Mill Straightness Tolerances ^c							
Sizes	Length	Permissible Variation in Straightness, in.					
		Camber	Sweep				
Flange width equal to or greater than 6 in.	All	1/8 in. × $\frac{(\text{total length, ft})}{10}$					
Flange width less than 6 in.	All	1/8 in. × $\frac{(\text{total length, ft})}{10}$	1/8 in. × $\frac{(\text{total length, ft})}{5}$				
Certain sections with a flange width approx. equal to depth & specified on order as columns ^d	45 ft and under	1/8 in. × $\frac{(\text{total length, ft})}{10}$ with 3/8 in. max.					
	Over 45 ft	3/8 in. + $\left[\frac{1}{8} \text{ in.} \times \frac{(\text{total length, ft} - 45)}{10} \right]$					

9.3.2. Deflexión máxima patín de vigas W

Desviación del patín de viga W en fabricación, según AISC, tabla 1-23.



Permissible Variations in Length						
Shape	Variations from Specified Length for Lengths Given ^c , in.					
	5 to 10 ft, excl.	10 to 20 ft, excl.	20 to 30 ft, incl.	Over 30 to 40 ft, incl.	Over 40 to 65 ft, incl.	Over 65 ft
All	1	1½	1¾	2¼	2¾	—
Mill Straightness Tolerances ^d						
Camber	$\frac{1}{8} \text{ in.} \times \frac{(\text{total length, ft})}{5}$					
Sweep	Due to the extreme variations in flexibility of these shapes, permitted variations for sweep are subject to negotiation between the manufacturer and purchaser for the individual sections involved.					
Other Permissible Rolling Variations						
Area and Weight	-2.5 to +3.0% from the theoretical cross-sectional area or the specified nominal weight ^e					
Ends Out of Square	S-Shapes, M-Shapes and Channels 1/64 in., per in. of depth					
<p>— Indicates that there is no requirement.</p> <p>^a A is measured at center line of web for S-shapes and M-shapes and at back of web for channels.</p> <p>^b T+ T' applies when flanges of channels are toed in or out.</p> <p>^c The permitted variation under the specified length is 0 in. for all lengths. There are no requirements for lengths over 65 ft.</p> <p>^d The tolerances herein are taken from ASTM A6 and apply to the straightness of members received from the rolling mill, measured as illustrated in Figure 1-1.</p> <p>^e For shapes with a nominal weight ≥ 100 lb/ft, the permitted variation is ±2.5% from the theoretical or specified amount.</p>						

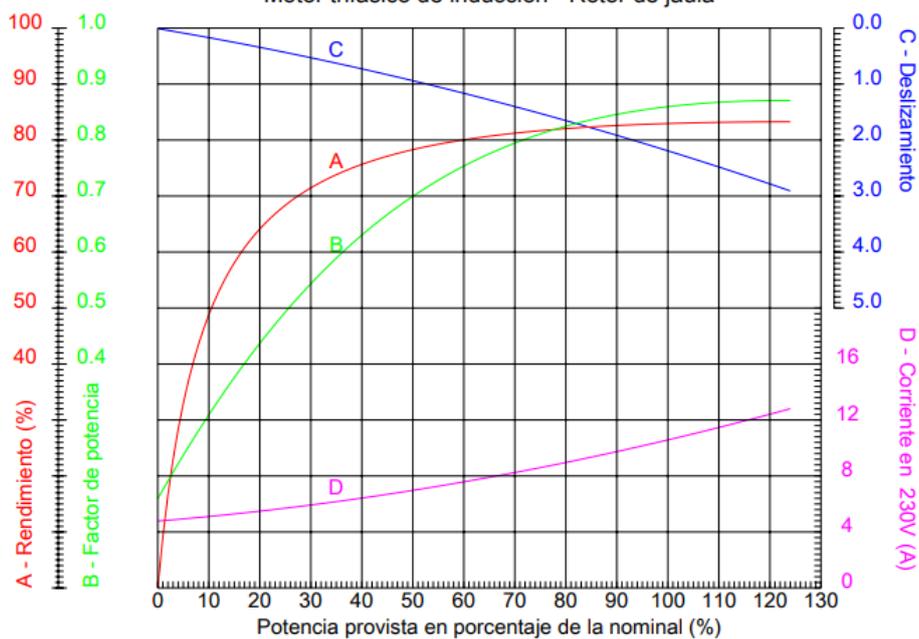
9.4. Características técnicas de los motores

9.4.1. Motor de 4 HP

HOJA DE DATOS		
Motor trifásico de inducción - Rotor de jaula		
Cliente	: Pino Solís Jesús	
Línea del producto	: W22 Carcasa de Hierro Gris - Standard Efficiency - IE1	
Carcasa	: 100L	
Potencia	: 4 HP	
Frecuencia	: 60 Hz	
Polos	: 2	
Rotación nominal	: 3520 rpm	
Deslizamiento	: 2,22 %	
Voltaje nominal	: 208-230/460 V	
Corriente nominal	: 11,7-10,5/5,27 A	
Corriente de arranque	: 84,3/42,2 A	
Ip/In	: 8,0	
Corriente en vacío	: 4,78/2,39 A	
Par nominal	: 8,14 Nm	
Par de arranque	: 280 %	
Par máxima	: 370 %	
Categoría	: ---	
Clase de aislación	: F	
Elevación de temperatura	: 80 K	
Tiempo de rotor bloqueado	: 11 s (caliente)	
Factor de servicio	: 1,15	
Régimen de servicio	: S1	
Temperatura ambiente	: -20°C - +40°C	
Altitud	: 1000 m	
Protección	: IPW55	
Masa aproximada	: 26 kg	
Momento de inercia	: 0,00401 kgm²	
Nivel de ruido	: 71 dB(A)	
	Delantero	Trasero
Rodamiento	6206 ZZ	6205 ZZ
Intervalo de lubricación	---	---
Cantidad de grasa	---	---
	Carga	Factor de potencia
	100%	0,86
	75%	0,81
	50%	0,70
		Rendimiento (%)
		83,0
		81,5
		78,5

CURVAS CARACTERÍSTICAS EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA

Motor trifásico de inducción - Rotor de jaula

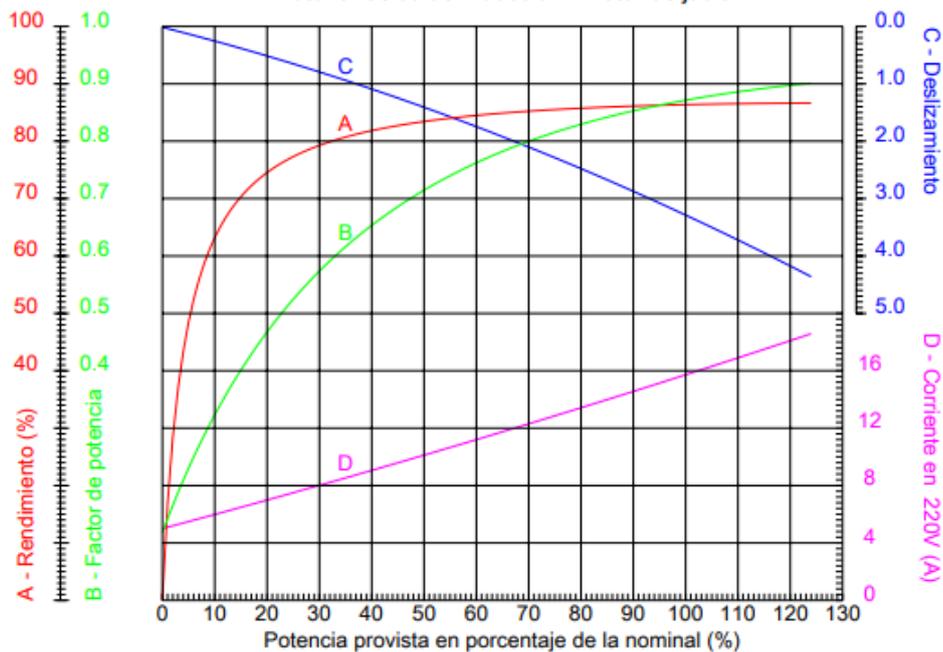


9.4.2. Motor de 6 HP

HOJA DE DATOS		
Motor trifásico de inducción - Rotor de jaula		
Cliente	: Pino Solís Jesús	
Línea del producto	: W22 Carcasa de Hierro Gris - Standard Efficiency - IE1	
Carcasa	: 112M	
Potencia	: 6 HP	
Frecuencia	: 60 Hz	
Polos	: 2	
Rotación nominal	: 3480 rpm	
Deslizamiento	: 3,33 %	
Voltaje nominal	: 220/380/440 V	
Corriente nominal	: 15,7/9,09/7,85 A	
Corriente de arranque	: 115/66,4/57,3 A	
Ip/In	: 7,3	
Corriente en vacío	: 5,00/2,89/2,50 A	
Par nominal	: 12,4 Nm	
Par de arranque	: 220 %	
Par máxima	: 300 %	
Categoría	: ---	
Clase de aislación	: F	
Elevación de temperatura	: 80 K	
Tiempo de rotor bloqueado	: 9 s (caliente)	
Factor de servicio	: 1,15	
Régimen de servicio	: S1	
Temperatura ambiente	: -20°C - +40°C	
Altitud	: 1000 m	
Protección	: IPW55	
Masa aproximada	: 37 kg	
Momento de inercia	: 0,00790 kgm ²	
Nivel de ruido	: 70 dB(A)	

	Delantero	Trasero			
Rodamiento	6207 ZZ	6206 ZZ	Carga	Factor de potencia	Rendimiento (%)
Intervalo de lubricación	---	---	100%	0,87	86,5
Cantidad de grasa	---	---	75%	0,82	85,0
			50%	0,71	84,0

CURVAS CARACTERÍSTICAS EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA
Motor trifásico de inducción - Rotor de jaula



9.5. TABLA DE EVALUACIÓN Y FICHA DE VALIDACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
TABLA DE EVALUACIÓN

Trujillo, 9 de mayo del 2022

1. DATOS

Apellido y nombre:

DNI:

Teléfono:

Título/grados:

Cargo e institución en que labora:

2. INFORMACIÓN SOBRE EL PROYECTO

Título de la tesis: Diseño de sistema electromecánico para la producción de vigas de acero en Metal Sur del Perú E.I.R.L.

Síntesis: Se busca diseñar una máquina para armado de vigas no estándar, para lo cual se requiere valorar la importancia de las necesidades a suplir.

3. INDICACIONES PARA LA EVALUACIÓN

Mediante la tabla de evaluación, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las exigencias marcando con "x" para cada exigencia. Se ha propuesto una escala del 1 al 5, donde, 1 es poco relevante y 5 es bastante importante.

4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

ITEM	Exigencia	Importancia				
		1	2	3	4	5
1	Armado de vigas de acero					x
2	Armado de vigas en corto tiempo				x	
3	Precisión de armado de vigas				x	
4	Seguridad de operación					x
5	Poco espacio ocupado		x			
6	Bajo consumo de energía		x			
7	Estructura estable			x		
8	Estructura rígida			x		
9	Estructura resistente			x		
10	De fácil fabricación		x			
11	De fácil montaje		x			
12	Fácil de operar			x		
13	Mantenimiento sencillo		x			
14	Vida útil mayor a 10 años			x		
15	Bajo costo de producción				x	

5. RECOMENDACIONES

FIRMA

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Tabla de evaluación
Objetivo del instrumento	Planteamiento de métricas calificadas
Nombres y apellidos del experto	Hanns Chávez Campos
Documento de identidad	70026702
Años de experiencia en el área	6 años
Máximo Grado Académico	Ingeniero Colegiado Mecánico
Nacionalidad	Peruano
Institución	AUSDAUER PROYECTOS PERU E.I.R.L.
Cargo	Jefe de Ingeniería
Número telefónico	931065024
Firma	
Fecha	09 /05 / 2022

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Tabla de evaluación
Objetivo del instrumento	Planteamiento de métricas calificadas
Nombres y apellidos del experto	Javier Laguna Avila
Documento de identidad	71217223
Años de experiencia en el área	5 años
Máximo Grado Académico	Ingeniero Colegiado Mecánico Electricista
Nacionalidad	Peruano
Institución	Metal Sur del Perú
Cargo	Jefe de Ingeniería
Número telefónico	997886739
Firma	
Fecha	10 /05 / 2022

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Tabla de evaluación
Objetivo del instrumento	Planteamiento de métricas calificadas
Nombres y apellidos del experto	Rodolfo Morocco Huayta
Documento de identidad	29535029
Años de experiencia en el área	10 años
Máximo Grado Académico	Ingeniero Colegiado Mecánico
Nacionalidad	Peruano
Institución	METAL SUR DEL PERU E.I.R.L.
Cargo	Gerente General
Número telefónico	957837952
Firma	 Rodolfo Morocco Huayta ING. MECANICO R. CIP. N° 208428
Fecha	10 /05 / 2022



METAL SUR DEL PERU E.I.R.L.

R.U.C. 20481577854

El **GERENTE GENERAL** de la empresa **METAL SUR DEL PERÚ E.I.R.L.**,
mediante la presente deja:

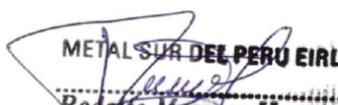
Constancia

Que el Sr. **JESUS PINO SOLIS** identificado con **DNI 45672589**, estudiante de **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO**, ha ejecutado el estudio para la tesis denominada **“DISEÑO DE SISTEMA ELECTROMECAÁNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE VIGAS DE ACERO EN METAL SUR DEL PERÚ E.I.R.L.”**. En las instalaciones de empresa.

Se expide la presente a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Trujillo 15 abril de 2022

Atentamente.

METAL SUR DEL PERU EIRL

Rodolfo Morocco Huayta
GERENTE GENERAL

9.6. Plano

