



**Diseño y automatización de una mesa para armado de núcleos de transformadores
apilados llevando a cabo un correcto Izaje en la empresa tesla**

Daniel Benavides Avilan

Código: 10451426375

Johan Andrés Hidalgo Sicacha

Código: 1012424235

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

FIMEB

Bogotá D.C, Colombia

2022

**Diseño y automatización de una mesa para armado de núcleos de transformadores
apilados llevando a cabo un correcto Izaje en la empresa tesla**

Daniel Benavides Avilan

Código: 10451426375

Johan Andrés Hidalgo Sicacha

Código: 1012424235

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico e Ingeniero en Automatización y Control

Director (a):

Ing. German Gutiérrez

Línea de Investigación:

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

FIMEB

Bogotá D.C, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
_____, Cumple con
los requisitos para optar
Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Contenido

Resumen.....	13
1. Introducción	15
1.1. Antecedentes.....	17
1.2. Objetivos	19
1.2.1. Objetivo General.....	19
1.2.2. Objetivos específicos.....	19
1.3. Alcance	20
1.4. Justificación	21
2. Marco Teórico	23
2.1. ¿Qué es un transformador?	23
2.1.1. Funcionamiento de un transformador	24
2.1.2. Partes de un transformador.....	24
2.1.3. Partes de la mesa para el armado de núcleos	25
3. Metodología	28
3.1. Fase 1. Caracterización de material.....	28
3.1.1. Dimensiones:.....	29
3.1.2. Caracterización del material de la mesa:	30
3.1.3 Variables de diseño:.....	32
3.1.4 Automatización de la mesa para armado de núcleos:	33
3.2. Fase 2 Diseño mecánico	33
3.2.1 Diseño en detalle.....	34

3.3.	Fase 3 Diseño Hidráulico	52
3.4.	Fase 4 Diseño y automatización de mesa.	71
	Conclusiones	80
	Bibliografía	81
	Anexos	85

Lista de figuras

Figura 1. Muñeco autómeta creado por Henry Millardet. Fuente: Adaptado de [19]	17
Figura 2. Máquinas automatizadas hoy en día. Fuente: Adaptado de [8].....	18
Figura 3. Riesgo al empleado. Fuente: Elaboración propia	22
Figura 4. Núcleo de transformador caído. Fuente: Elaboración propia	22
Figura 5. Ley de la inducción propuesta por Michael Faraday. Fuente: Adaptado de [14]	23
Figura 6. Partes de un transformador Fuente: Adaptado de [17].....	24
Figura 7. Cilindro hidráulico. Fuente: Adaptado de [4].....	25
Figura 8. IPE prefabricada. Fuente: Elaboración propia.....	25
Figura 9. Control lógico programable. Fuente: Adaptado de [1].....	26
Figura 10. Pantalla delta. Fuente Adaptado de [6].....	27
Figura 11. Contactor. Fuente: Adaptado de [5]	27
Figura 12. Finales de carrera. Fuente: Adaptado de [11].....	28
Figura 13. Colaborador armando núcleo. Fuente: Elaboración propia	29
Figura 14. Ficha técnica de lámina HR de 3/8 Fuente: Adaptado de [14].....	31
Figura 15 Lamina HR 3/8". Fuente: Adaptado de [14].	32
Figura 16. Plancha. Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 17. Diseño de la base principal. Fuente: Elaboración propia	35
Figura 18. Platina de soporte mesa. Fuente: Elaboración propia.....	36
Figura 19. Elaboración de la plancha de la mesa. Fuente: Elaboración propia	37

Figura 20 Pivotes de apoyo para soporte de carga de la mesa de izaje. Fuente: Elaboración propia	38
Figura 21. Base inferior de soporte. Fuente: Elaboración propia	39
Figura 22. Platinas. Fuente: Elaboración propia.....	40
Figura 23 . Diseño IPE prefabricada. Fuente: Elaboración propia	41
Figura 24. IPE prefabricada. Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 25. IPE prefabricada. Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 26. Base apilado núcleo. Fuente: Elaboración propia	43
Figura 27. Análisis estático base. Fuente: Elaboración propia	44
Figura 28. Deformación de lámina. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 29. Análisis estático base principal. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 30. Factor de seguridad base principal. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 31. Mesa de armado. Fuente: Elaboración propia	47
Figura 32. Diagrama de fuerza cortante de IPE. Fuente: Elaboración propia	48
Figura 33. Diagrama de momento flector. Fuente: Elaboración propia	48
Figura 34, IPE simulada. Fuente: Elaboración propia	50
Figura 35. Sistema hidráulico. Fuente: Adaptado de Fuente: Adaptado de [14].....	52
Figura 36. Elaboración del diseño hidráulico. Fuente: Elaboración propia.....	53
Figura 37. Diseño de sistema hidráulico. Fuente: Elaboración propia	54
Figura 38. .Modelo 3D de sistema hidráulico de máquina de izaje. Fuente: Elaboración Propia	66
Figura 39. Diseño hidráulico en software con cilindro retraído. Fuente: Elaboración Propia	67

Figura 40. Diseño hidráulico en software con cilindro extendido. Fuente: Elaboración propia.....	68
Figura 41. Diseño hidráulico en software bloqueo de sistema. Fuente: Elaboración propia	69
Figura 42. Proceso de operación. Fuente: Elaboración propia	72
Figura 43. Proceso de izaje. Fuente: Elaboración Propia	74
Figura 44. Elevamiento de núcleo. Fuente: Elaboración propia.....	75
Figura 45. Línea de código parte 1. Fuente: Elaboración Propia.....	76
Figura 46. Línea de código parte 2. Fuente: Elaboración Propia.....	77
Figura 47. Línea de código parte 3. Fuente: Elaboración Propia.....	77
Figura 48. Línea de código parte 4. Fuente: Elaboración Propia.....	78

Lista de tablas

Tabla 1. Cifras sobre accidentes de trabajo en el transcurso del año 2022.....	16
Tabla 2. Propiedades de acero al carbono.....	30
Tabla 3. Propiedades de las vigas de acero.....	49
Tabla 4. Hipótesis de cálculo de carga de peso óptimo	51
Tabla 5. Elección de diámetro para sistema hidráulico	54
Tabla 6. Catálogo de motores.	63
Tabla 7. Catálogo de mangueras.	65

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Factor de seguridad	44
Ecuación 2. Peso de carga.....	51
Ecuación 3. Área del pistón	55
Ecuación 4. Área del vástago.....	56
Ecuación 5. Área anular	57
Ecuación 6. Fuerza extracción del pistón	57
Ecuación 7. Fuerza retracción del pistón	58
Ecuación 8. Caudal del sistema	60
Ecuación 9. Volumen de avance.....	60
Ecuación 10. Tiempo de descenso	61
Ecuación 11. Volumen de retroceso	61
Ecuación 12. Potencia de la bomba	62
Ecuación 13. Velocidad de avance	62
Ecuación 14. Diámetro de mangueras	64
Ecuación 15. Diámetro de tubería.....	64

Lista de anexos

Anexo A. Núcleo apilado en la empresa TESLA	85
Anexo B. Plano de fabricación del diseño de la estructura de mesa vista: Lateral.....	86
Anexo C. Planos de fabricación del diseño de la estructura de la mesa vista: Frontal	87
Anexo D. Planos de fabricación del diseño de la estructura de la mesa vista: Posterior..	88
Anexo E. Análisis estático de la mesa de armado de núcleos	89
Anexo F. Planos estructurales mesa.....	90
Anexo G. Diagrama de automatización	91

Resumen

Con el fin de obtener mejores rendimientos a nivel empresarial e industrial, es necesario crear una maquinaria que inicialmente, disminuya los riesgos laborales, mejorando así las condiciones de los trabajadores, evitando posibles demandas a futuros que pongan en peligro el patrimonio de la empresa y el dinero del empresario, y adicionalmente genere un aumento en la capacidad de producción, impulsando los ingresos de la empresa y posicionándola a su vez de manera más competitiva en los mercados. Lo que se realizó en este proyecto de grado, fue la creación de una mesa que automatice el armado de núcleos de un transformador cumpliendo las condiciones anteriormente mencionadas y mejorando a su vez la producción industrial de cualquier empresa dedicada al apilado de núcleos de los transformadores.

Inicialmente para este proyecto, se tuvo en cuenta la caracterización del material donde se escoge los materiales necesarios para hacer el diseño estructural y mecánico de la mesa, de este modo se procedió a diseñar el sistema hidráulico el cual ayudará a dar el grado de inclinación para hacer el elevamiento del núcleo, ya finalizando se diseñó la automatización de la mesa para que sea manejada por un colaborador, es decir que tiene el ascenso y descenso programado lo cual ayudara a hacer un correcto izaje del núcleo y de esta manera se dará la protección al colaborador.

Palabras Clave: Transformador, Capacidad de producción, Automatización, Apilado de núcleos, Prevención de riesgos laborales.

Abstract

In order to obtain better returns at a business and industrial level, it is necessary to create machinery that reduces occupational risks, thus improving the conditions of workers, avoiding possible future lawsuits that endanger the company's assets and the entrepreneur's money, and two generates an increase in production capacity, boosting the company's income, in turn positioning the company more competitively in the markets. The purpose of this degree project is the creation of a table that automates the assembly of cores, fulfilling the aforementioned conditions and, in turn, improving the industrial production of any company dedicated to stacking cores.

Initially for this project, the characterization of the material was taken into account where the necessary materials are chosen to make the structural and mechanical design of the table, in this way we proceeded to design the hydraulic system which will help to give the degree of inclination for lift the core, and at the end the automation of the table was designed to be handled by a collaborator, that is, it has the scheduled ascent and descent which will help to correctly hoist the core and in this way protection will be given to the collaborator.

Keywords: Transformer, Production capacity, Automation, Core stacking, Occupational risk prevention.

1. Introducción

La empresa Nacional de Transformadores S.A.S. Tesla, es una compañía colombiana dedicada a la fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos, dentro de las actividades de ésta, se lleva a cabo el ensamblaje y armado de generadores eléctricos de hasta 5000 KVA de capacidad.

Ahora bien, el presente proyecto configura un proceso de manera continua tanto en el aspecto industrial como la seguridad del trabajador, puesto que, genera una alternativa hacia unas necesidades latentes como lo son, la prevención de riesgos laborales, generando a su vez un impulso económico y competitivo para cualquier empresa dedicada al ensamble de núcleos para transformadores eléctricos. Como acción de mejora se hará la creación de una mesa que automatice el proceso de izaje en el apilamiento de núcleos, disminuyendo los factores de riesgo para los trabajadores (posición biomecánica y minimización de accidentalidad - aplastamiento) ya que este proceso lo realizan de forma manual, de tal manera se busca reducir los tiempos de izajes de los núcleos de 45 minutos a 15 minutos, incrementando la producción de la empresa.

Dentro de los procesos que se ejecutan en la empresa TESLA, se encuentra establecido el ensamble de núcleos para los transformadores eléctricos, donde se evidencia que actualmente la tarea de izaje para los núcleos no es óptima para el correcto de movimiento de cargas ya que hay un deslizamiento de láminas las cuales presentan una modificación de acuerdo al modelo estándar afectando la calidad final del producto.

En el presente proyecto se propone el diseño de una mesa automatizada que corrija los errores en el momento de ensamblado e izaje de un núcleo teniendo en cuenta que la misma contará con partes estructurales mecánicas, hidráulicas y de automatización para hacer el elevamiento del núcleo, para así establecer un mejor movimiento y no se presente un deslizamiento de láminas que afecten la calidad del núcleo armado.

A partir de lo anterior se alcanzará la minimización de factores de riesgo laborales puesto que es necesario prevenir y salvaguardar la vida del colaborador, así se establece un bienestar óptimo para el trabajador y la empresa en términos legales y costos operativos.

Prevenir y minimizar los accidentes de trabajo es importante para las empresas, más allá del cumplimiento de una norma, ayuda a mejorar las condiciones laborales, a reducir la siniestralidad y promover la salud de los trabajadores. Se ha evidenciado que realizar capacitaciones en emergencias, autocuidado, higiene postural; la evaluación de riesgos de los

lugares de trabajo, equipos, agentes físicos, químicos y biológicos, factores psicosociales, etc., disminuyen la accidentalidad y el ausentismo laboral lo cual redundará en tiempo productivo para las organizaciones. (Guevara Lozano, 2015)

En la siguiente tabla muestra las cifras de accidentes de trabajo publicadas por el ministerio de salud y seguridad social.

Tabla 1. Cifras sobre accidentes de trabajo en el transcurso del año 2022

Aseguradora	Accidentes de trabajo ocurridos
CIA. DE SEGUROS BOLIVAR S.A.	1907
COMPAÑIA SURAMERICANA ADMINISTRADORA DE RIESGOS PROFESIONALES Y SEGUROS VIDA	5.112
SEGUROS DE VIDA COLPATRIA S.A.	2.584

Fuente: Adaptado de [12]

La tabla anterior muestra unas cifras de accidentes laborales, entre solo tres aseguradoras de riesgos laborales, las cifras son alarmantes puesto que son solo hasta febrero del presente año, con la creación de la mesa para la automatización de los procesos de izaje, es posible reducir estas cifras, además de disminuir errores humanos, mejorando así la producción y a su vez aumentando el capital de la empresa.

1.1. Antecedentes

Los equipos de izaje de núcleos autónomos se extienden a una gran trayectoria de innovación puesto que son parte primordial de los transformadores, el autor que define este proceso como la Ciencia y Técnica que agrupa el conjunto de las disciplinas teóricas y tecnológicas que intervienen en la concepción, la construcción, y el empleo de los sistemas automáticos. La automática constituye el aspecto teórico de la cibernética. (García Moreno, 1999)

La automatización inicio años después de la revolución industrial a mediados del siglo XVIII, un ejemplo de esto es el autómeta Henry Millardet que crea en 1805 un muñeco capaz de hacer movimientos automáticos.



Figura 1. Muñeco autómeta creado por Henry Millardet. Fuente: Adaptado de [19]

Así como este, muchos inventos más fueron un precedente para la automatización industrial tal y como la conocemos hoy en día.

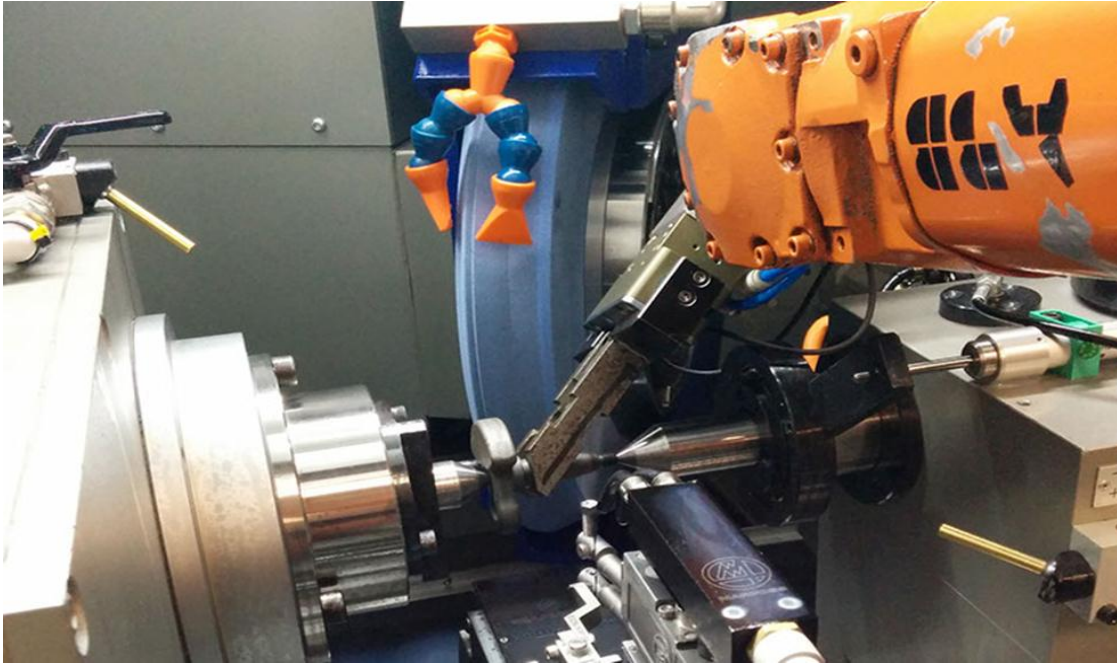


Figura 2. Máquinas automatizadas hoy en día. Fuente: Adaptado de [8]

La figura 2 es un ejemplo de cómo se ven las máquinas automatizadas industrialmente.

Por otro lado encontramos a (Pacheco & Saucedo , 2018) donde esta persona hace un diseño mecánico de una mesa de apilado de núcleo para transformadores de potencia, el cual sirve como referencia para dar una guía de como diseñar la mesa, teniendo énfasis en la parte mecánica e hidráulica ya que resalta que es lo más importante para que haya un buen funcionamiento de la máquina.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar y automatizar una mesa de ensamble de núcleos apilados llevando a cabo correcto izaje en la empresa TESLA.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las características, dimensiones, variables necesarias para el diseño y la automatización de la mesa.
- Diseñar la estructura mecánica de la mesa.
- Diseñar el sistema hidráulico de la mesa.
- Diseñar la automatización para el ascenso y el descenso de la mesa para su correcto izaje, transporte y mitigación de riesgo para el trabajador.

1.3.Alcance

Este trabajo de grado tiene como esencia principal realizar el diseño de una mesa ensambladora, aclarando que su finalidad es reducir los tiempos de ejecución a un 25% menos de lo establecido; es decir una variable de 15 a 20 minutos dependiendo la magnitud del núcleo. Aumentar la seguridad para los operarios, adicionalmente, se deben seleccionar adecuadamente los materiales e insumos, debido a que es importante obtener un proceso económicamente viable para no exceder el presupuesto establecido.

1.4. Justificación

Para el desarrollo de este proyecto es importante tener en cuenta que la empresa TESLA buscará reducir tiempos en el levantamiento de cargas, aclarando que uno de los factores más importantes es la ergonomía del colaborador, y el correcto armado de los núcleos. El objetivo es diseñar una mesa que tendrá como fin hacer un proceso de izaje de un núcleo apilado más sencillo con el propósito de disminuir los tiempos de levantamiento de cargas, de modo que este proceso se haga de forma correcta con la finalidad de que no haya desplazamientos en las láminas, ya que estas deben cumplir ciertos estándares para que el transformador funcione correctamente. Por otro lado, se buscará mejorar el tiempo de ensamblado del núcleo automatizando la mesa con una serie de guías que mejoren los procesos de armado y así disminuir los tiempos de ensamblado. En este diseño y automatización se tendrán en cuenta materiales e insumos que aseguren la viabilidad económica del proyecto. Igualmente existen estudios y desarrollos de la mesa [7] donde Gorge y su equipo de trabajo presentan el diseño de una mesa de apilados de un transformador de 40 MVA hasta los 215 MVA, este estudio va desde la caracterización del material hasta el desarrollo de la mesa. El documento es de gran importancia debido a que se presentan los cálculos matemáticos y los dimensionamientos por software, logrando así un correcto análisis mecánico. Esta información será de gran ayuda para la realización del proyecto que se hará en la empresa TESLA. En este proyecto se desarrollará un diseño que garantice un buen funcionamiento de la mesa con el fin de evitar desplazamientos en las láminas de los núcleos, los cuales representan costos y tiempo; para ello se considerará tomar medidas y diseños adecuados que incrementan la productividad y la seguridad en los procesos de levantamiento durante el ensamble del transformador.



Figura 3. Riesgo al empleado. Fuente: Elaboración propia

Visualizando la figura 3 demuestra los riesgos que corren los trabajadores en la empresa TESLA, ya que todos los núcleos de los transformadores son izados de esta manera corriendo riesgo la empresa.



Figura 4. Núcleo de transformador caído. Fuente: Elaboración propia

Observando la figura 4 se detalla que hubo un mal procedimiento de izaje y esto hizo caer el núcleo de un transformador.

2. Marco Teórico

2.1. ¿Qué es un transformador?

Un transformador es un sistema eléctrico que se basa en los principios de la inducción electromagnética la cual transfiere voltaje o corriente sin variar la frecuencia, por lo tanto, el transformador permite incrementar o reducir la corriente alterna (Walter Brokering, 2018).

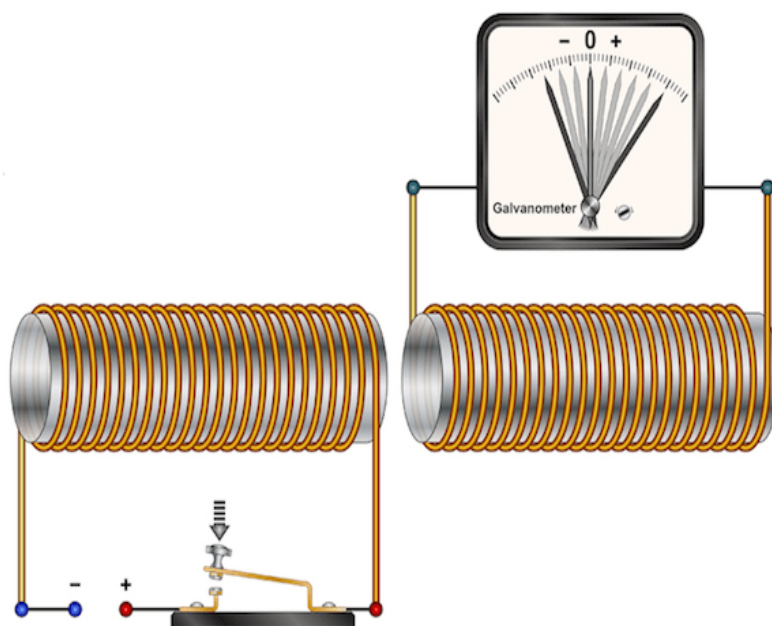


Figura 5. Ley de la inducción propuesta por Michael Faraday. Fuente: Adaptado de [14]

La anterior figura es un esquema de cómo funcionaría la ley de la inducción eléctrica mediante el uso de bobinas.

2.1.1. Funcionamiento de un transformador

El transformador funciona sobre la base de la inducción electromagnética. Al aplicar una fuerza electromotriz en la bobina primaria, es decir, una diferencia de potencial, se crea un flujo magnético en el núcleo de hierro, este flujo se moverá de primario a secundario. Con su movimiento provocará una fuerza electromagnética en la bobina secundaria (Walter Brokering, 2018).

2.1.2. Partes de un transformador

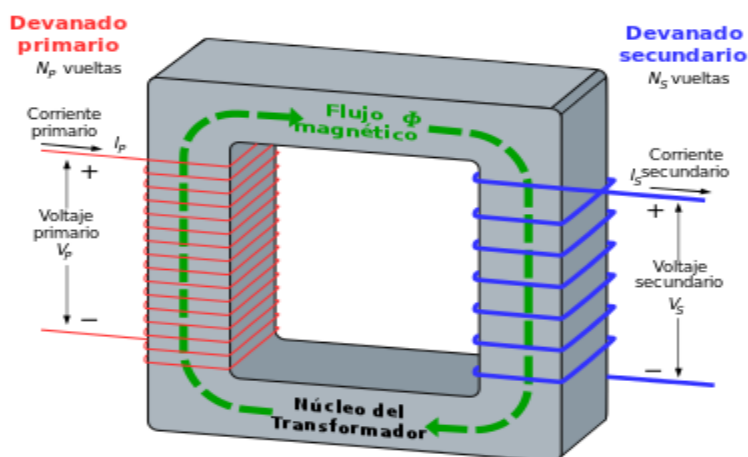


Figura 6. Partes de un transformador Fuente: Adaptado de [17]

- Bobina primaria: Encargada de recibir el diferencial de potencial para convertirla en un flujo magnético.
- Núcleo del transformador: Los núcleos de los transformadores están hechos de láminas de acero al silicio aisladas entre sí, estas constan de dos partes principales: columnas, donde se montan las bobinas y radios, donde se conectan las columnas. El núcleo se utiliza para conducir el flujo porque es un excelente conductor de electricidad.
- Bobina secundaria: Encargada de transformar el flujo magnético en una diferencia de potencial requerida.

2.1.3. Partes de la mesa para el armado de núcleos

- Cilindro hidráulico: Un cilindro hidráulico es un actuador lineal que se mueve bajo un fluido el cual empuja un pistón, que a su vez mueve el vástago para así desplazar la carga (Cilindros Hidráulicos).



Figura 7. Cilindro hidráulico. Fuente: Adaptado de [4]

- IPE prefabricada: Es un producto laminado el cual tiene una forma de I que es usado para las estructuras metálicas, ya que ofrece una gran resistencia para dar soporte de peso tanto horizontal como vertical.



Figura 8. IPE prefabricada. Fuente: Elaboración propia

➤ Componentes de control:

- PLC: Un sistema PLC es una computadora que se usa en la industria de la automatización para el control de una máquina la cual usa una lógica programable que convierte una entrada en una salida establecida (AUTYCOM).



Figura 9. Control lógico programable. Fuente: Adaptado de [1]

- Pantalla delta: Es una herramienta con una interfaz entre el operario y la máquina la cual sirve para controlar los procesos industriales (Delta Electronics Distribuidor).



Figura 10. Pantalla delta. Fuente Adaptado de [6]

- Contactores: Es un dispositivo que abre o cierra circuitos para un proceso de automatizado (Control contactor 40A AC1 25A AC3 120V NC1 2510 Chint) .



Figura 11. Contactor. Fuente: Adaptado de [5]

- Finales de carrera: Es un sensor electromecánico que detecta unas de las posiciones móviles de un elemento mediante un accionamiento mecánico (Micro switch final de carrera con brazo rodillo ME-8104).



Figura 12. Finales de carrera. Fuente: Adaptado de [11]

3. Metodología

El marco de la metodología comienza con un diagnóstico general del dispositivo basado principalmente en fuentes clave de información tales como: recopilación de medidas y dimensiones, así como una evaluación del estado funcional del dispositivo, sus partes; además, se utilizan fuentes de información secundarias, como trabajos de grados anteriores (Pacheco & Saucedo , 2018).

3.1.Fase 1. Caracterización de material

Inicialmente para el desarrollo y posterior cumplimiento de los objetivos de este proyecto, es necesario estudiar las características para la elaboración de la mesa, donde se determina dimensiones, caracterización de material, variables de diseño y automatización de la

mesa adaptándonos a los materiales y componentes suministrados por nacional de transformadores.

3.1.1. Dimensiones:

Las dimensiones planteadas para el diseño de la mesa son basadas a la dificultad del armado de núcleo para las personas, donde se encuentra que la altura de la mesa existente no es viable para la postura de los colaboradores en el momento del ensamble y además las mesas no cumplen los criterios necesarios para el izaje correcto de un núcleo aumentando los riesgos de reproceso lo cual impacta el costo de la producción.



Figura 13. Colaborador armando núcleo. Fuente: Elaboración propia

Observando la figura 13, se determina que la mesa existente tiene medidas de 1.20 m x 1.20 m con una altura de 0.80 m, a lo cual se propone una mesa que tenga medidas de 1.70 m x 1.60 m con una altura de 0.97 m, siendo así la mesa será más grande con la cual se proyecta aumentar la cantidad de núcleos de distintas dimensiones teniendo en cuenta su geometría y su capacidad.

3.1.2. Caracterización del material de la mesa:

Para la elaboración y diseño de la mesa la empresa nacional de transformadores tesla solicita sea utilizada el material acero A-36 HR el cual es material existente en la empresa, puesto que cuentan con el personal y las herramientas necesarias para el manejo de este material disminuyendo costo de fabricación, se analizan las propiedades del material el cual cumple con las características necesarias para este tipo de implementación.

Lámina HR A-36: El material a utilizar para toda la mesa es lámina HR A36 de distintos calibres ya que las características de éste son apropiadas para la construcción de la mesa, según la norma ASTM A-36 posee las siguientes propiedades mecánicas:

Tabla 2. Propiedades de acero al carbono

NORMAS	CALIDAD	CARACTERISTICAS MECANICAS UNIDAS			USOS
		RTmin (Mpa)	Emin (Mpa)	A%(Lo:50mm)	
IRAM-IAS U500-42	F22	363-513	216	26	ACEROS PARA USOS GENERAL Y ESTRUCTURAL
IRAM-IAS U500-42	F24	412-562	235	24	
IRAM-IAS U500-42	F30	490-640	294	22	
IRAM-IAS U500-42	F36	510-660	353	22	
ASTM	A36	400-550	250	21	
ASTM	A203 (GC)	380-515	205	25	
ASTM	A572 (G70)	450	345	21	
ENS235JR(DIN)	(ST37)	340-470	235	26(A%:5,65 So)	
ENS235JR(DIN)	(ST42)	410-560	275	22(A%:5,65 So)	
ENS235JR(DIN)	(ST52)	490-630	355	22(A%:5,65 So)	

La selección de este tipo de material principalmente se basa en la facilidad de conformarlo con maquinaria para corte plasma, corte laser, plegado y construcción a partir de

soldadura, conservando sus características elásticas y sufriendo poca afección por generación de puntos calientes de la soldadura.

De la anterior tabla se sacan las siguientes características de material A-36:

Propiedad	A36
Limite de rotura	400-550Mpa
Limite de fluencia	250MPa
Modulo de young	200 MPa



**LAMINA CALIDAD ESTRUCTURAL
ASTM A131 GR C - NAVAL**

Características:
Lamina HR estructural de mediana resistencia. Producto plano obtenido por laminación de planchones de acero estructural naval los cuales son previamente calentados hasta una temperatura de 1250°C.

Utilizado en todo tipo de construcciones estructurales, con amplia aplicación a la industria naval, su principal característica es la alta soldabilidad y maleabilidad para el propósito naviero. Producto de la más alta ingeniería, fabricado para un punto de cadencia de 34000 psi (235MPa), más alto que las planchas A-283 que no supera los 28000 psi e igualando la resistencia a la tracción de la lámina A-36 de 58000 psi.

Especificaciones de proceso de soldadura según AWS A 5.1 E60 - Alta soldabilidad

Composición Química:

%C	%Mn	%Si	%Cu	%P	%S
-	-	-	-	0.035	0.035
0.21	0.52	-	-	-	-

Propiedades mecánicas:
Mínimo Limite Elástico: 235MPa
Mínima Resistencia a la Tensión: 400MPa
Elongación: mín. 24%
Dureza: 120-140HB

Aplicaciones:
Construcción y reparaciones navales, puertos, barcos, barcazas, entre otras.

Certificaciones:




Figura 14. Ficha técnica de lámina HR de 3/8 Fuente: Adaptado de [14].

Esta ficha técnica y la tabla de propiedades mecánicas es de gran ayuda para elegir el material a utilizar, se usará la lámina de distintos calibres; por lo tanto, estas tienen las propiedades mecánicas necesarias para el armado de la mesa.

Esta ficha técnica y la tabla de propiedades mecánicas es de gran ayuda para elegir el material a utilizar, se usará la lámina de distintos calibres; por lo tanto, estas tienen las propiedades mecánicas necesarias para el armado de la mesa.

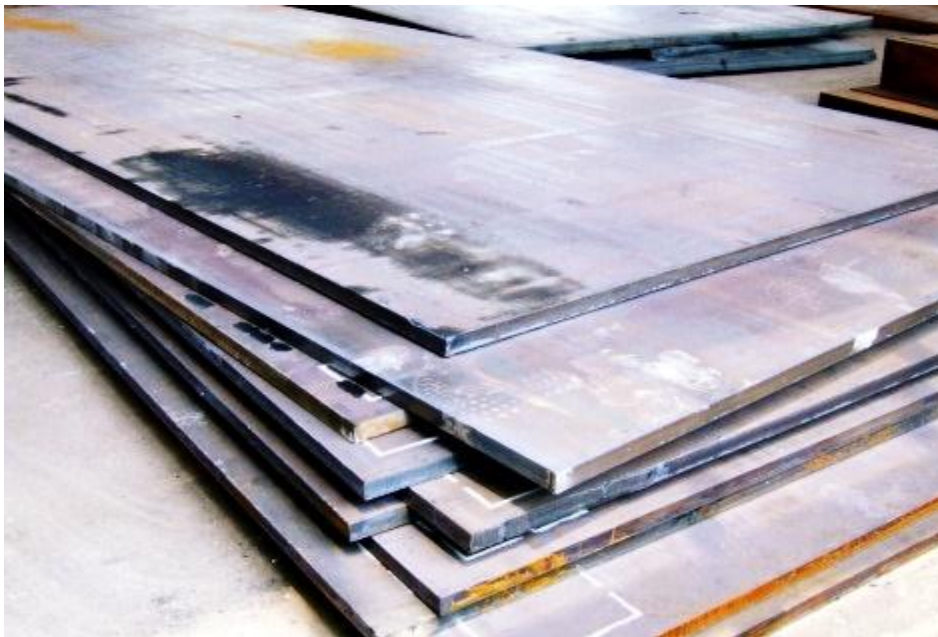


Figura 15 Lamina HR 3/8". Fuente: Adaptado de [14].

3.1.3 Variables de diseño:

Inicialmente se identifica que existen variables de peso y dimensiones de la mesa, debido a que la mayoría de los transformadores encontrados en la empresa NACIONAL DE TRANSFORMADORES TESLA son de diferente peso y longitud; por lo tanto, con base a las medidas de una mesa existente, así se generará el diseño de un nuevo modelo que satisfaga las necesidades de la empresa y el empleado.

3.1.4 Automatización de la mesa para armado de núcleos:

La mejora automatizada de la mesa depende de la comunicación e interacción de los componentes dirigidos por un PLC Mitsubishi fx5u de 17 entradas y 17 salidas, estas trabajarán en conjunto para realizar el control del izaje del núcleo mediante una pantalla Delta, esta envía los pulsos de flancos al PLC para conmutar los relés de 24 VDC y a su vez conmutando con los contactores de 220 V para el flujo de voltaje a la bomba hidráulica, de esta forma el operario podrá operar la mesa sin mayor complicación.

La mesa cuenta con un sistema de emergencia sonoro y lumínico, que es accionado por los finales de carrera, esto inhabilita el sistema en dirección contraria para evitar el sobre esfuerzo del sistema hidráulico el cual tendrá un bloqueo, así se previene la caída del núcleo del transformador.

3.2.Fase 2 Diseño mecánico

Principalmente el diseño mecánico a efectuar está basado en la mesa, precisando con qué tipo de materiales se va a fabricar y teniendo en cuenta la ubicación y distribución de todos sus componentes. Este diseño se ejecuta por modelación 3D, usando herramientas de simulación de elementos finitos con el fin de mejorar y evitar errores cuando se fabrique el dispositivo.

Inicialmente para la realización y posterior cumplimiento de los objetivos de este proyecto, es necesario elaborar el diseño en un programa de modelado 3D con el software Solidworks, con esto se busca tener una visión de un modelo a escala, evaluar su funcionamiento ensamblada y detallar a fondo los posibles inconvenientes que la mesa pueda tener. Este diseño se elabora pieza por pieza en el programa mencionado.

3.2.1 Diseño en detalle

El primer diseño para elaborar la máquina de elevación de núcleos, es la platina de la máquina, con esto es posible, determinar unas medidas óptimas para mantener peso, también tendrá perforaciones de 1" distribuidas en la platina y de esta manera se usaran varillas roscadas de 1" x 1 m para el anclaje de la maquina en el suelo, esto resistirá el contrapeso cuando el núcleo este elevado a 90° (vertical), este diseño se puede encontrar en la figura 16.

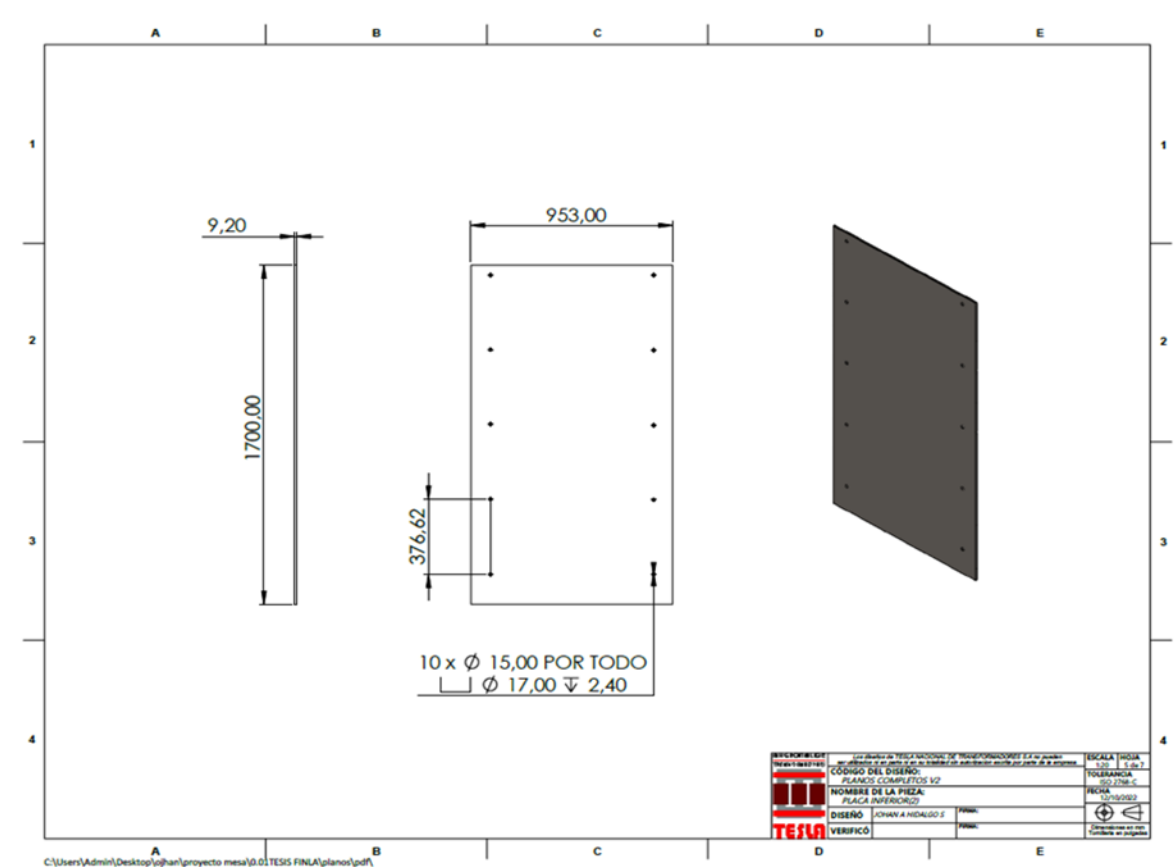


Figura 16. Plancha. Fuente: Elaboración propia

El proceso de diseño inicia con la fabricación de la placa inferior, en ella descansa la estructura de bases laterales de la mesa y el anclaje para el cilindro hidráulico, adicionalmente la máquina deberá tener una placa en concreto con las varillas roscadas y de esta manera tendrá un nivel apropiado para el funcionamiento de la misma.

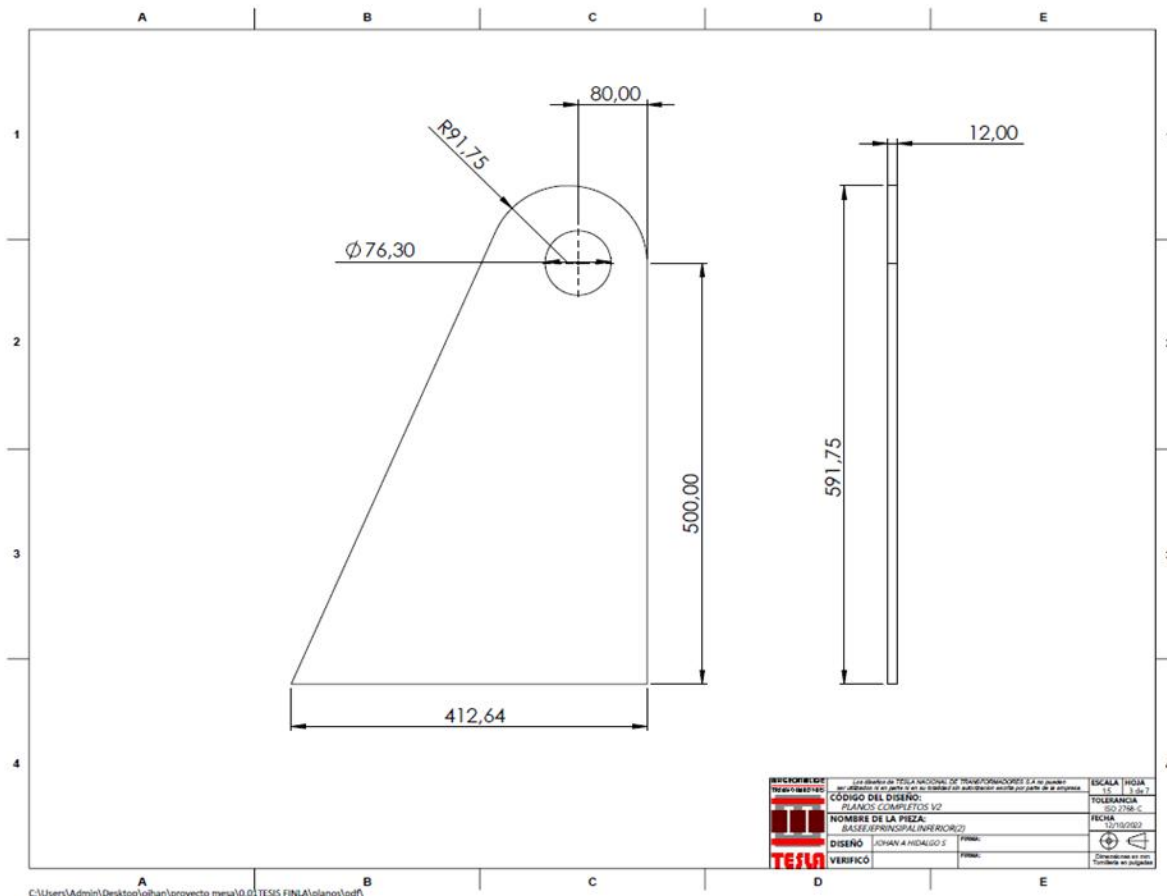


Figura 17. Diseño de la base principal. Fuente: Elaboración propia

Luego de elaborar la platina principal en el software de diseño, es necesario seguir con la elaboración de otras partes, como por ejemplo, la platina de soporte de los ejes, en la cual va unida a la plancha superior para el armado de nucelos y soporte del cilindro hidráulico, ya que así generara una movilidad y estabilidad a la máquina. Esta platina se puede encontrar en la figura 18.

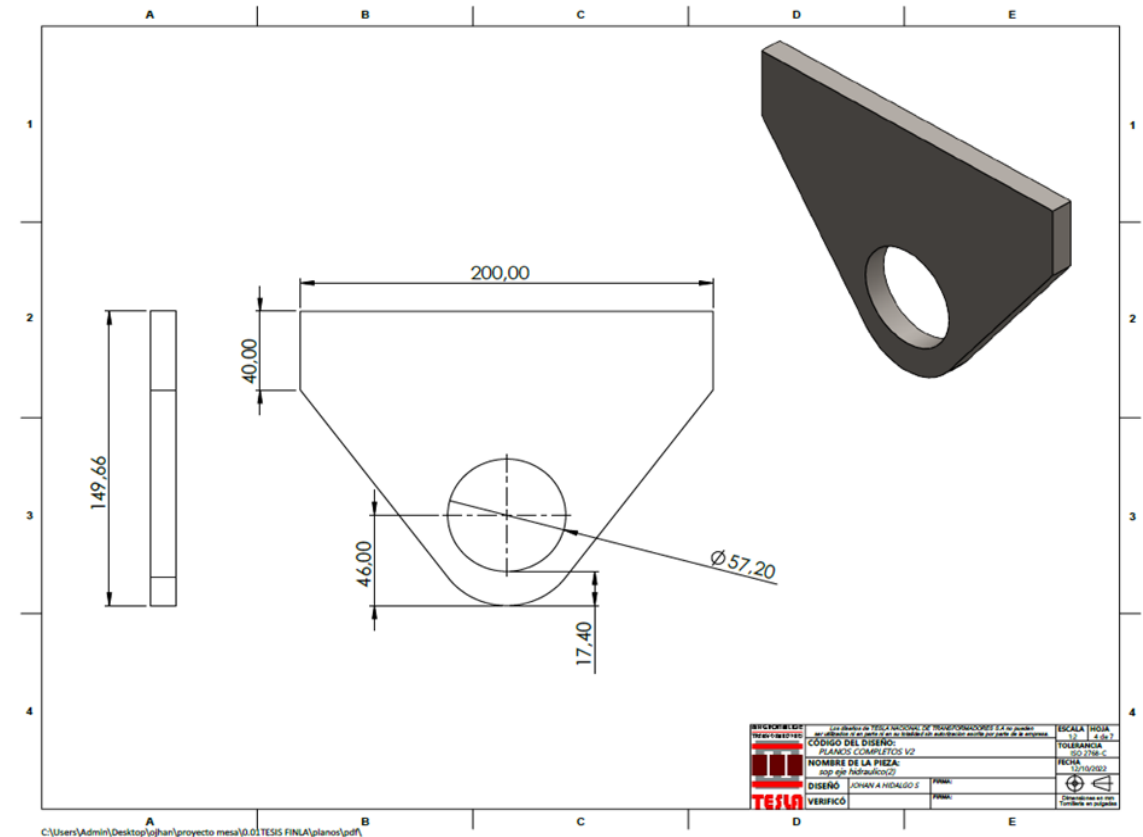


Figura 18. Platina de soporte mesa. Fuente: Elaboración propia

La platina evidenciada en la figura 18 tiene la función de dar el movimiento a la máquina para el grado de inclinación de la mesa y soporte para la plancha (ver figura 19), siendo así servirá para el proceso de ensamblaje de los núcleos.

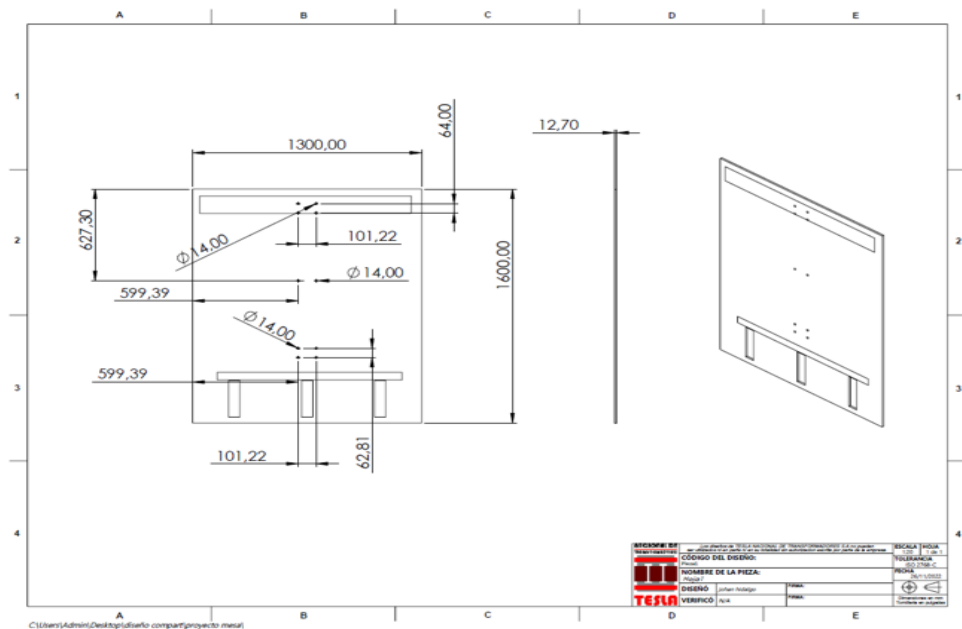


Figura 19. Elaboración de la plancha de la mesa. Fuente: Elaboración propia

Esta plancha servirá de soporte para agregarle las IPES prefabricadas y así montar los núcleos de los transformadores que se van a izar, luego de agregada esta mesa o platina, se tendrá que agregar los ejes de soporte para que la mesa tenga un mejor funcionamiento y no haya problemas futuros que afecten la calidad del producto final. (Ver figura 19)

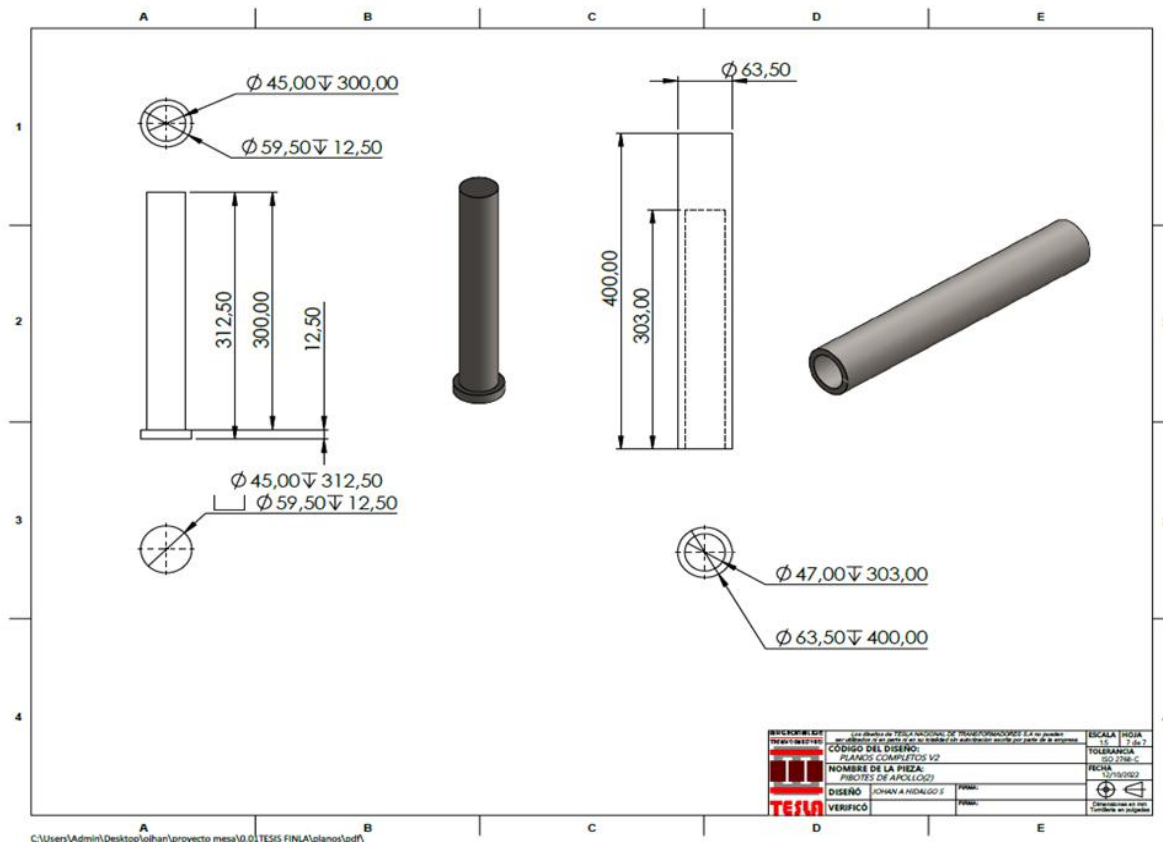


Figura 20 Pivotes de apoyo para soporte de carga de la mesa de izaje. Fuente: Elaboración propia

Estos pivotes de apoyo servirán para darle una orientación y grado de inclinación de la máquina para hacer el izaje, esto quiere decir que, los pivotes determinarán en donde deben ir ubicadas las bases para el posterior ensamblaje, que servirán para soportar los nucleos en el momento del izaje vertical.

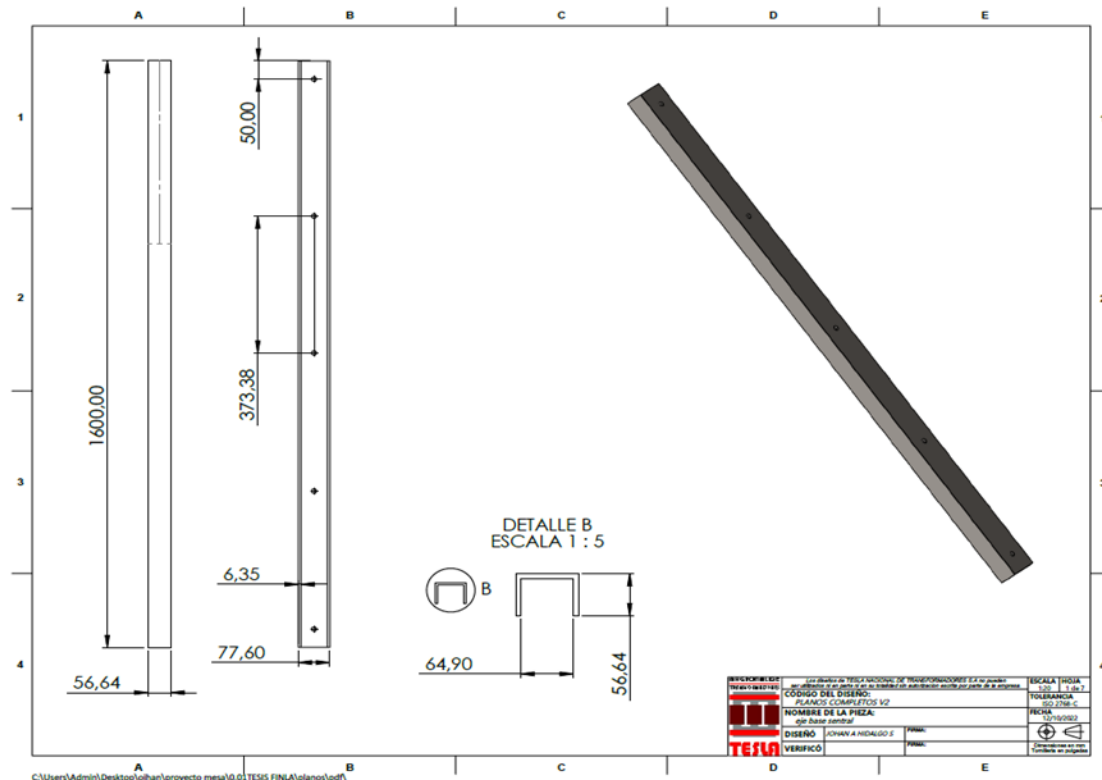


Figura 21. Base inferior de soporte. Fuente: Elaboración propia

Con el diseño de esta mesa, es posible determinar, una base sólida para el posterior ensamblaje de una plancha para cargar los núcleos. Esta pieza, sirve para agregar la carga deseada y su posterior izaje. Con la finalidad de contar con una estructura firme, y de esta forma garantizar el movimiento gradual a la mesa.

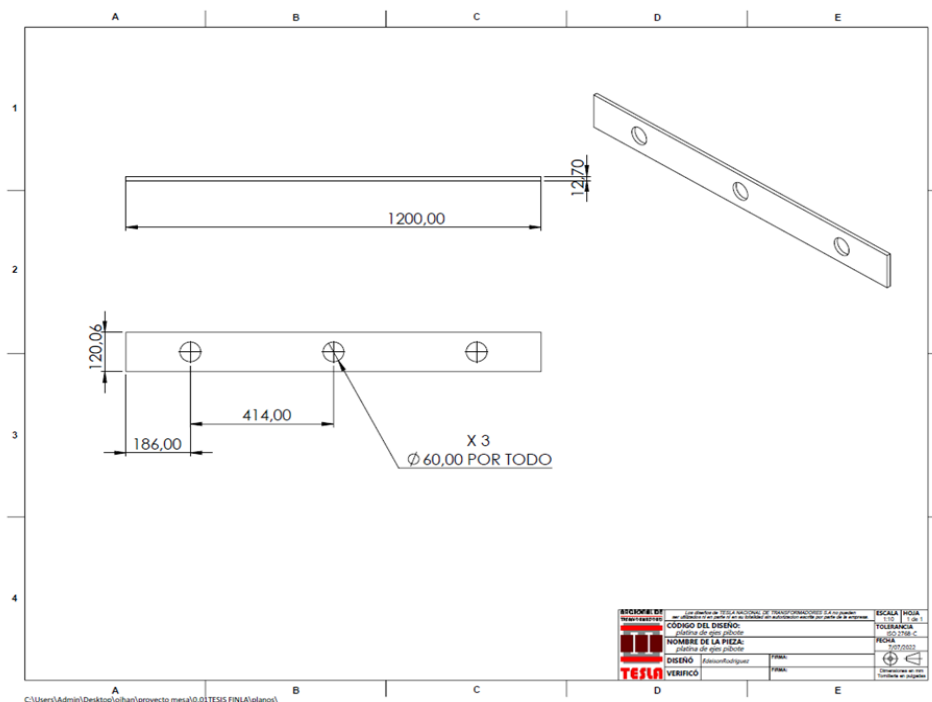


Figura 22. Platinas. Fuente: Elaboración propia

la figura 22 se detalla la platina de ajuste para pivotes la cual nos permite desplazar los pivotes de forma vertical a la mesa , el cua el operario debe ajustar una ves inicie el proceso garantizando las medidas para el correcto ensamble del núcleo.

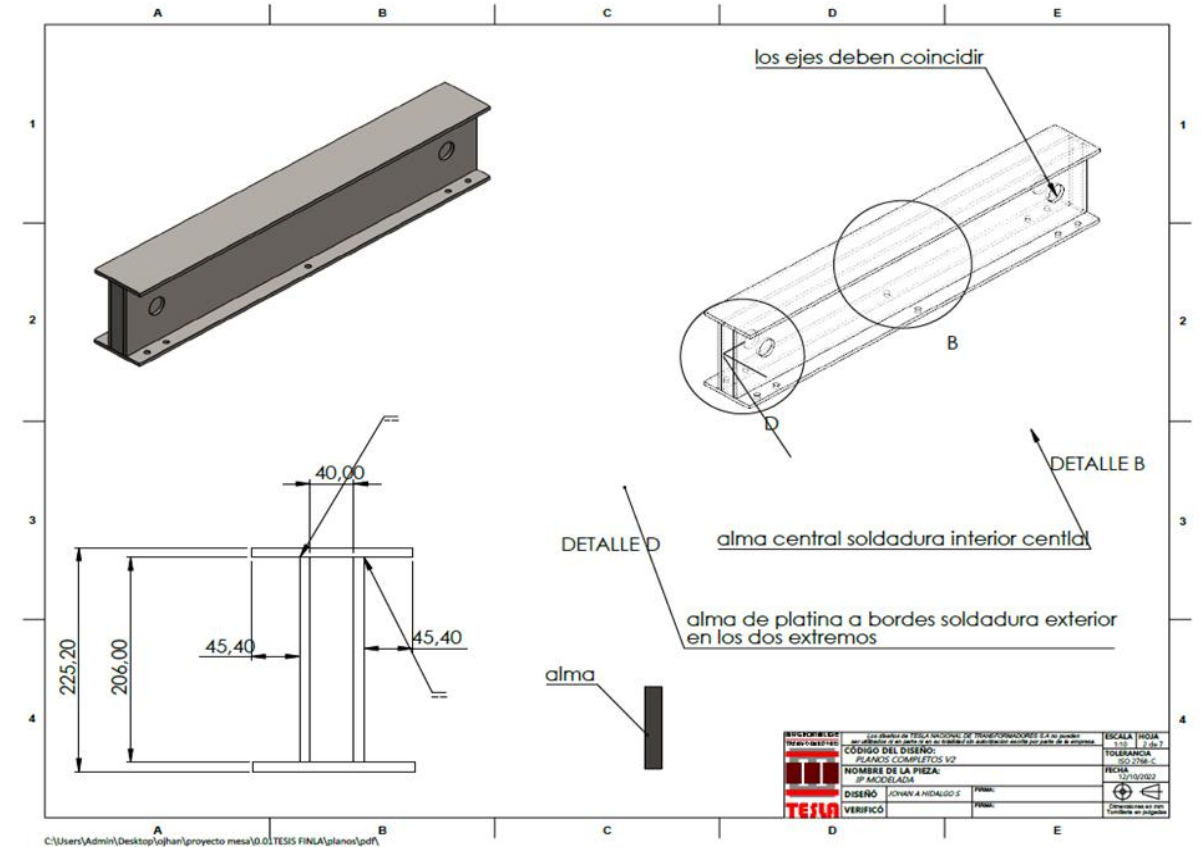


Figura 23 . Diseño IPE prefabricada. Fuente: Elaboración propia

Estas bases laterales, funcionan para dar soporte para agregar tanto el armado de los núcleos (laminado) como los ejes de movimiento para ajustar horizontalmente el ancho de los núcleos, así mismo servirá para amarrar el núcleo y así poder hacer el izaje correcto cuando esté en el punto vertical. En la siguiente ilustración se hace un modelo prefabricado de dicho diseño. (Ver figura 24 y 25).



Figura 24. IPE prefabricada. Fuente: Elaboración propia



Figura 25. IPE prefabricada. Fuente: Elaboración propia

Este es el diseño que servirá para determinar cómo es la IPE prefabricada donde se apoyará y se ensamblarán las láminas del núcleo. Luego de observado el modelo de las bases, se podrá evidenciar la mesa para apilar los núcleos (ver figura 25).



Figura 26. Base apilado núcleo. Fuente: Elaboración propia

Este es un modelo geométrico 3D de las vigas y soportes, como se puede observar este es el diseño de la máquina para izaje de núcleos de transformadores, en este diseño se miran las diferentes partes, tanto las bases como los ejes, estas piezas que al ser ensambladas darían pie al diseño final de la máquina. Ver lista de ANEXOS, por otro lado por medio del software se hace un análisis estático de las piezas donde hay más esfuerzos.

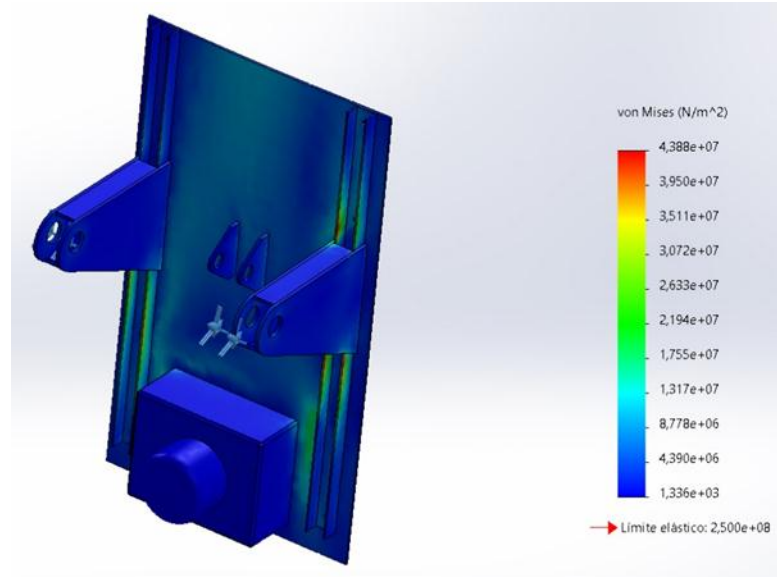


Figura 27. Análisis estático base. Fuente: Elaboración propia

Visualizando la figura 27 se muestra la escala de colores respecto a las tensiones y de esta manera hay una visión más clara de los puntos con más esfuerzo, claramente se muestra el valor de la tensión de Von-Mises el cual corresponde a $\sigma_{vm} = 43.8 \text{ MPa}$.

Considerando que el material se encuentra en esa zona y recordando que es el A-36 con $\sigma_{adm} = 250 \text{ MPa}$, el factor de seguridad se da por la siguiente ecuación.

Ecuación 1. Factor de seguridad

$$Cs = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{vm}}$$

$$Cs = \frac{250 \text{ MPa}}{43.8 \text{ MPa}}$$

$$Cs = 5.7$$

Este factor de seguridad es bueno debido a que contempla cualquier diminuto efecto dinámico que pueda surgir en el izado del núcleo, teniendo en cuenta las bajas velocidad de avance de inclinación con las que trabaja la mesa ($0.12 \frac{[\text{pulgadas}]}{[\text{s}]}$).

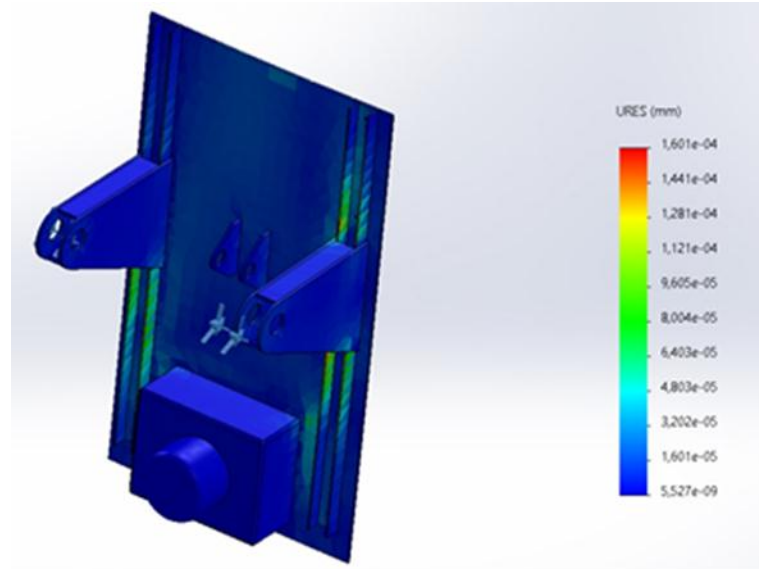


Figura 28. Deformación de lámina. Fuente: Elaboración propia

Observando la ilustración 28 muestra que el valor de la flexión de la lámina es de 0.000161 mm siendo así se determina que está por debajo de las tensiones.

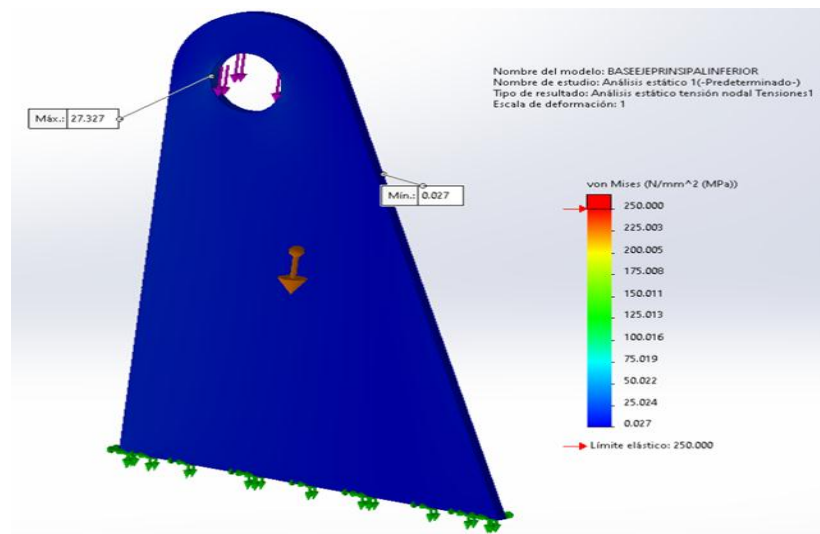


Figura 29. Análisis estático base principal. Fuente: Elaboración propia

Debido a las características de diseño de la pieza, las cargas transversales de este se distribuyen en la totalidad del cuerpo lo cual nos arroja un esfuerzo de 250.000 MPa garantizándonos su funcionamiento.

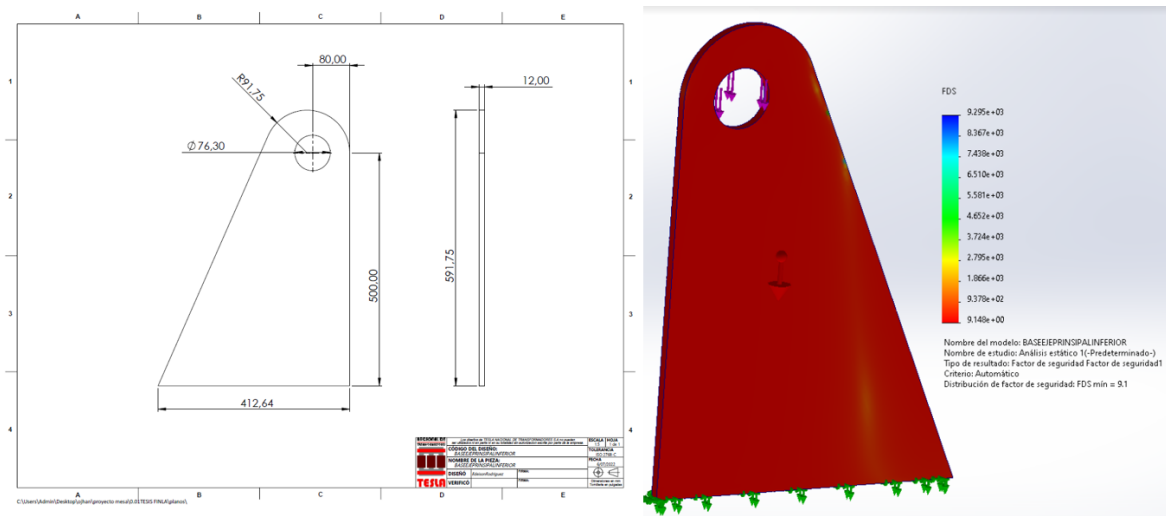


Figura 30. Factor de seguridad base principal. Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso fue diseñar la pieza que nos garantizara la altura ideal de 0.97 m, el soporte mecánico de acuerdo a las cargas estacionarias y a las cargas generados por la estructura del núcleo. También es necesario que la estructura soporte lo movimientos generados por el sistema en el momento de izaje o descenso de la mesa

Con ayuda del software de diseño Solidworks se puede apreciar el factor de seguridad al cual fue sometida la pieza del sistema contemplando una carga de 2100 kg, su factor de seguridad será de 9 tal como se evidencia.

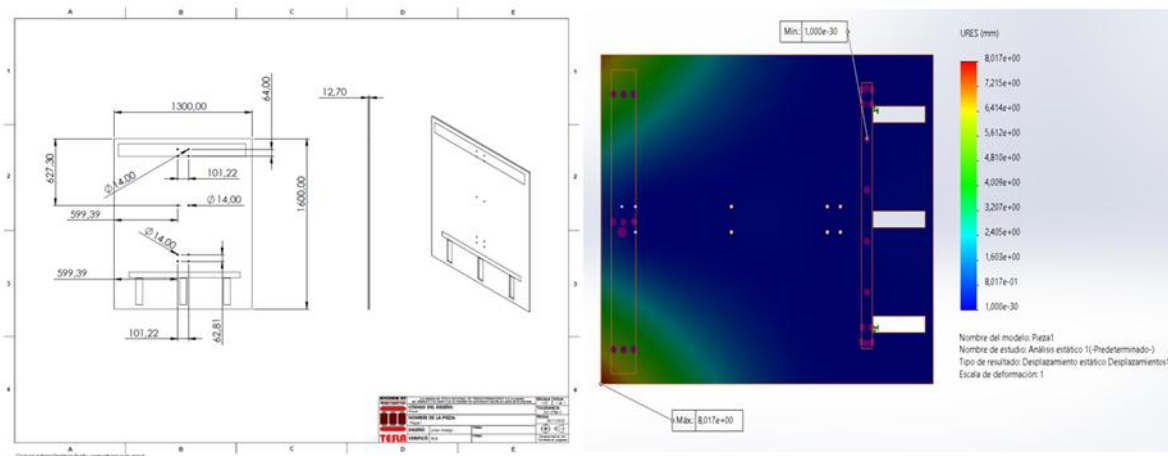


Figura 31. Mesa de armado. Fuente: Elaboración propia

Una vez calculada la parte inferior procedemos a analizar la plancha superior como observamos en la figura 31, en esta se visualiza el plano de construcción y corte de la plancha la cual va a soportar los núcleos ensamblados, en este caso observamos el punto mayor y menor de flexibilidad de la lámina y de determina que con una carga de 2100 kg la pieza tendrá una deformación de 8 mm, siempre y cuando la carga sea repetida.

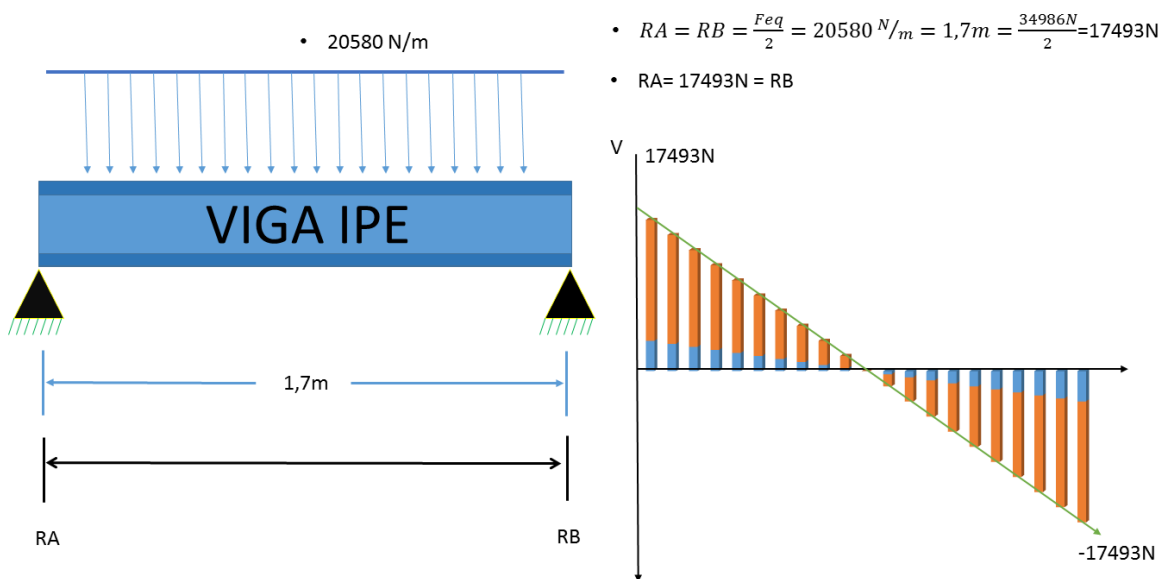


Figura 32. Diagrama de fuerza cortante de IPE. Fuente: Elaboración propia

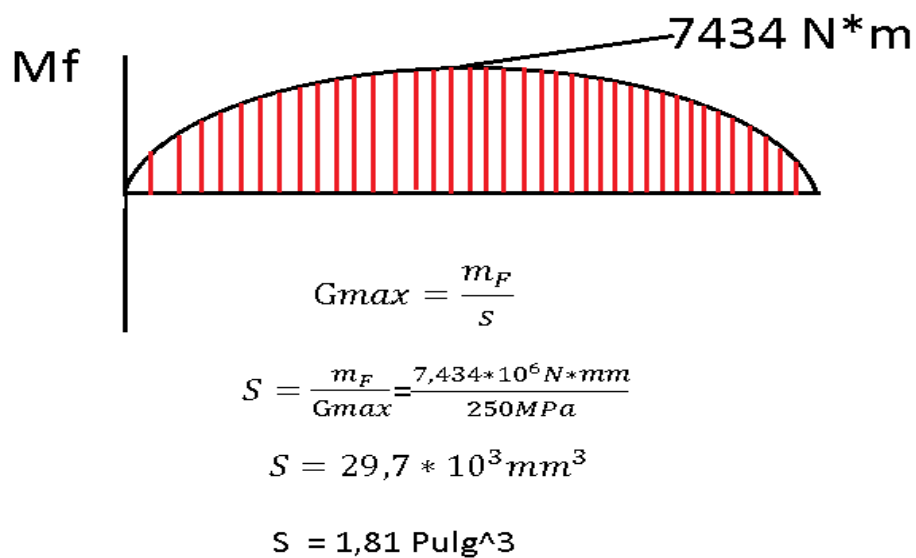


Figura 33. Diagrama de momento flector. Fuente: Elaboración propia

Como se observa en las figuras 32 y 33 se saca el diagrama de fuerza cortante y momento flector de la viga IPE, de este modo se saca la sección del material el cual tiene un valor de 1.81 pulgadas³, de tal forma este resultado lo verificaremos en la tabla 3.

Tabla 3. Propiedades de las vigas de acero.

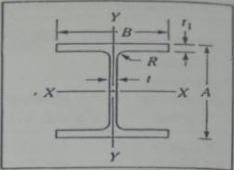


TABLA A17-2 Vigas estándar de la Aluminum Association: dimensiones, áreas, pesos y propiedades de las secciones

Propiedades de la sección transversal[‡]

Tamaño		Área* (pulg ²)	Peso† (lb/pie)	Espesor de patín, <i>t</i> ₁ (pulg)	Espesor del alma <i>t</i> (pulg)	Radio del chaflán, <i>R</i> (pulg)	Eje X-X			Eje Y-Y		
Peralte <i>A</i> (pulg)	Ancho <i>B</i> (pulg)						<i>I</i> (pulg ⁴)	<i>S</i> (pulg ³)	<i>r</i> (pulg)	<i>I</i> (pulg ⁴)	<i>S</i> (pulg ³)	<i>r</i> (pulg)
3.00	2.50	1.392	1.637	0.20	0.13	0.25	2.24	1.49	1.27	0.52	0.42	0.61
3.00	2.50	1.726	2.030	0.26	0.15	0.25	2.71	1.81	1.25	0.68	0.54	0.63
4.00	3.00	1.965	2.311	0.23	0.15	0.25	5.62	2.81	1.69	1.04	0.69	0.73
4.00	3.00	2.375	2.793	0.29	0.17	0.25	6.71	3.36	1.68	1.31	0.87	0.74
5.00	3.50	3.146	3.700	0.32	0.19	0.30	13.94	5.58	2.11	2.29	1.31	0.85
6.00	4.00	3.427	4.030	0.29	0.19	0.30	21.99	7.33	2.53	3.10	1.55	0.95
6.00	4.00	3.990	4.692	0.35	0.21	0.30	25.50	8.50	2.53	3.74	1.87	0.97
7.00	4.50	4.932	5.800	0.38	0.23	0.30	42.89	12.25	2.95	5.78	2.57	1.08
8.00	5.00	5.256	6.181	0.35	0.23	0.30	59.69	14.92	3.37	7.30	2.92	1.18
8.00	5.00	5.972	7.023	0.41	0.25	0.30	67.78	16.94	3.37	8.55	3.42	1.20
9.00	5.50	7.110	8.361	0.44	0.27	0.30	102.02	22.67	3.79	12.22	4.44	1.31
10.00	6.00	7.352	8.646	0.41	0.25	0.40	132.09	26.42	4.24	14.78	4.93	1.42
10.00	6.00	8.747	10.286	0.50	0.29	0.40	155.79	31.16	4.22	18.03	6.01	1.44
12.00	7.00	9.925	11.672	0.47	0.29	0.40	255.57	42.60	5.07	26.90	7.69	1.65
12.00	7.00	12.153	14.292	0.62	0.31	0.40	317.33	52.89	5.11	35.48	10.14	1.71

Fuente: Aluminum Association, *Aluminum Standards and Data*, 11ª edición, Washington, DC, © 1993, p. 187.
 *Las áreas se basan en las dimensiones nominales.
 †Los pesos por pie se basan en las dimensiones nominales, y en una densidad de 0.098 lb/pie³, que es la densidad de la aleación 6061.
 ‡*I* = momento de inercia; *S* = módulo de sección; *r* = radio de giro.

Según el resultado teórico comparado con la tabla, se escoge la viga de 4 pulgadas de peralte x 3 pulgadas de patín, de esta manera si se compara la viga diseñada (ver figura 23) con respecto a la teórica, se deduce que el diseño es más seguro y no se tendrá ningún problema a la hora de usar para el soporte de los núcleos.

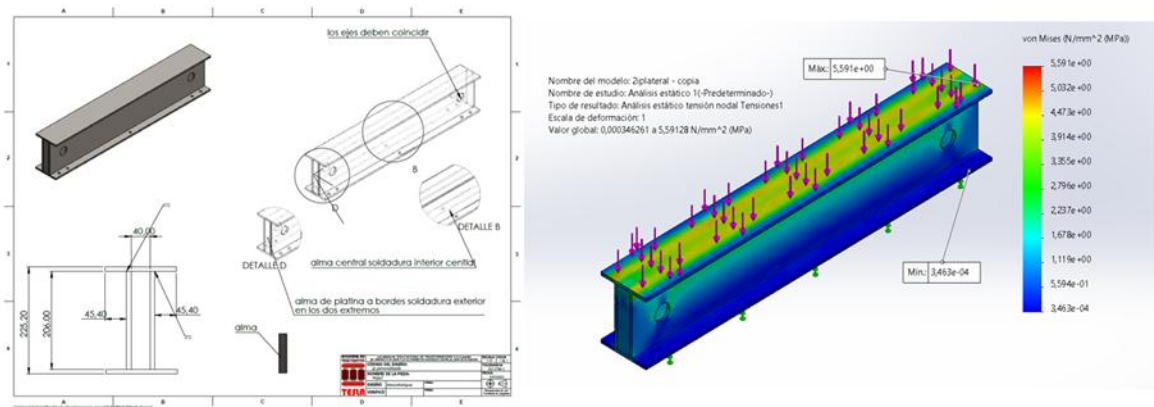


Figura 34, IPE simulada. Fuente: Elaboración propia

Los núcleos serán ensamblados sobre IPES prefabricadas, estas descansarán sobre la pancha superior y mantendrán fija las piernas del núcleo las cuales tienen un peso aproximado por pierna de 450 kg, se le da una masa de 1000 kg y los resultados obtenidos son los aceptables para garantizar la no deformación de las IPES prefabricadas y de esta forma lograr ensamblar los distintos tipos de núcleos.

Por lo tanto el factor de seguridad de esta pieza esta evaluado sobre la ecuación 1

$$C_s = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{vm}}$$

$$C_s = \frac{250MPa}{5.59MPa}$$

$$C_s = 44.7$$

Este factor de seguridad es muy alto debido que la carga se pone sobre una sola pieza, es decir que si es distribuida será menor el resultado, por otro lado se identifica que el diseño simulado tiene bastante resistencia para el uso que tiene.

Posteriormente se explicará el peso y demás variables para la carga de dicho proceso, (Pacheco & Saucedo , 2018) plantea la siguiente fórmula para calcular el peso que soportara la máquina.

Ecuación 2. Peso de carga

$$P = (\text{Masa del nucleo} + \text{Masa de la mesa}) * 9,8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$P = (1100 [\text{kg}] + 1000[\text{kg}]) * 9,8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$P = 2100[\text{kg}] * 9,8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$P = \mathbf{20,580[N]}$$

Esta fórmula matemática es usada dentro del diseño de la máquina de izaje, determina no solo el peso óptimo de carga de la máquina, sino también, es la necesaria para calcular la fuerza del cilindro hidráulico.

El autor plantea que la hipótesis de la carga está basada en la siguiente información. (Ver tabla 4)

Tabla 4. Hipótesis de cálculo de carga de peso óptimo

ELEMENTO	MASA EN [kg]
NÚCLEO	1100
MESA	1000
TOTAL	2100

Fuente: Elaboración propia

El autor plantea (Pacheco & Saucedo , 2018) que la fórmula matemática funciona como base para explicar la parte anterior, ahora bien, en una visión general para lograr determinar la carga óptima para la mesa de izaje, se usa la masa total de núcleo y mesa.

3.3. Fase 3 Diseño Hidráulico

El sistema hidráulico de la máquina para izaje, trabaja con base a la presión ejercida de un fluido, a partir del cual se da una acción mecánica que permite el movimiento de un objeto, dicho movimiento se da a raíz de la presión de un pistón. (Pacheco & Saucedo , 2018). El esquema de un sistema hidráulico se puede observar en la siguiente ilustración (Ver ilustración 24).

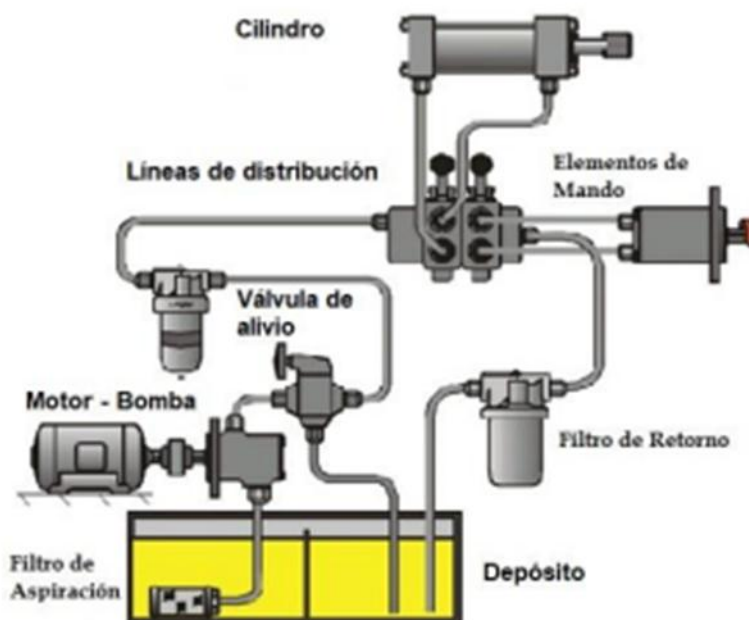


Figura 35. Sistema hidráulico. Fuente: Adaptado de Fuente: Adaptado de [14]

El sistema hidráulico se verá reflejado en los planos de dimensionamiento de la mesa, dando allí las ubicaciones del cilindro hidráulico de doble efecto y sus partes, como mangueras, acoples, etc. La selección del cilindro hidráulico se hará con base en los pesos de los núcleos de los transformadores que se deben izar, el recorrido del vástago, el diámetro y la inclinación de la mesa.

Después de tomar las dimensiones de la mesa ya diseñada se agregará el cilindro, para esto se procede a diseñar el cilindro hidráulico, tal y como se observa en la figura 24.



Figura 36. Elaboración del diseño hidráulico. Fuente: Elaboración propia

En la figura 24 se muestra cómo es el sistema hidráulico de la mesa de izaje, dicho sistema se deriva de una serie de cálculos matemáticos en los cuales; una suma de diferentes factores logra que la máquina no solo tenga grado de inclinación, sino que dicha pendiente logre el proceso deseado, izar núcleos para transformadores.



Figura 37. Diseño de sistema hidráulico. Fuente: Elaboración propia

En la figura 37 se observa el cilindro hidráulico en el cual se calculará la fuerza necesaria para hacer el movimiento mecánico para el núcleo armado, inicialmente se tendrá como referencia la ecuación 5 (fuerza extracción del pistón). De este modo en las siguientes tablas se especificara el cilindro a escoger.

Tabla 5. Elección de diámetro para sistema hidráulico

Fuerza cilindro (Lb-f)	Area de cilindro (pulgadas ²)	Diametro cilindro(pulgadas)
7059	0,7853904	1
7059	1,7671284	1 1/2
7059	3,1415616	2
7059	4,90869	2 1/2
7059	7,0685136	3
7059	9,6210324	3 1/2
7059	12,5662464	4

Esta tabla anterior es suministrada por el fabricante de sistemas hidráulicos, la cual especifica que la elección del cilindro depende del diámetro, en lo tanto significa que si se usa un cilindro con un diámetro menor tendrá un costo menor pero presentara fallos al elevar el núcleo y por el contrario si maneja un diámetro más alto, da más seguridad al núcleo para hacer la inclinación, por lo tanto el diámetro a escoger es de 3” ya que se encuentra en un rango normal tanto en lo económico como en el movimiento.

Por otro lado en la siguiente tabla (4) se muestra las presiones a las que el sistema debe trabajar efectivamente.

Fuerza cilindro (Lb-f)	Area de cilindro (pulgadas ²)	Diámetro cilindro(pulgadas)	Presion del sistema (PSI)
7059	0,7853904	1	8987,886789
7059	1,7671284	1 1/2	3994,61635
7059	3,1415616	2	2246,971697
7059	4,90869	2 1/2	1438,061886
7059	7,0685136	3	998,6540876
7059	9,6210324	3 1/2	733,705044
7059	12,5662464	4	561,7429243

Según lo mostrado en la tabla 4, el fabricante especifica que la presión a manejar en el cilindro de la mesa debe ser de 1000 PSI para que el sistema no tenga fallos, por tanto se escoge el diámetro de 3” y así mismo con lleva a la presión requerida.

Según lo anterior ya se procede a diseñar y hacer los cálculos para el cilindro hidráulico teniendo en cuentas las tablas anteriores.

Ecuación 3. Área del pistón

Dónde:

A=Área pistón.

Π = Signo que equivale al número 3,1416, aproximadamente, y da un resultado de la relación entre una longitud de la circunferencia y el diámetro.

D = Diámetro pistón.

$$A = \pi \frac{\text{Diámetro pistón}^2}{4}$$

$$A = \pi \frac{[3 \text{ pulgadas}]^2}{4}$$

$$A = \frac{28,27 [\text{pulgadas}]^2}{4}$$

$$A = 7,063 [\text{pulgadas}]^2$$

Ecuación 4. Área del vástago

Dónde:

A =Área vástago

Π = Signo que equivale al número 3,1416, aproximadamente, y da un resultado de la relación entre una longitud de la circunferencia y el diámetro

D = Diámetro vástago

$$A = \pi \frac{\text{Diámetro vástago}^2}{4}$$

$$A = \pi \frac{[1.5 \text{ pulgadas}]^2}{4}$$

$$A = \frac{7,06 [\text{pulgadas}]^2}{4}$$

$$A = 1,76 [\text{pulgadas}]^2$$

Ecuación 5. Área anular

$$\text{Área anular} = \text{Área pistón} - \text{Área vástago}$$

$$\text{Área anular} = 7,06 [\text{pulgadas}]^2 - 1,76 [\text{pulgadas}]^2$$

$$\text{Área anular} = 5.30 [\text{pulgadas}]^2$$

Donde se entiende que el área anular es el área que necesita el cilindro para hacer la retracción del cilindro..

Ecuación 6. Fuerza extracción del pistón

F= Fuerza del cilindro hidráulico

P=Presión del sistema hidráulico

A=Área del pistón

$$F = P * A$$

$$F = 1000 [\text{psi}] * 7,06 [\text{pulgadas}]^2$$

El valor de la presión de 1000 psi es suministrada por un fabricante de sistemas hidráulicos.

$$F = 7060 [\text{Libra} - \text{fuerza}]$$

Haciendo conversión de Libra-fuerza a Newton

$$F = 7060 [\text{Libra} - \text{fuerza}] * \frac{4.44822 [N]}{1 [\text{Libra} - \text{fuerza}]}$$

$$F = 31,404 [N]$$

Como se puede evidenciar en los cálculos hechos anteriormente se determina que si la suma del peso total del núcleo y del peso de la máquina es de **20,580[N]**, esto con respecto al cálculo del cilindro se refleja que la fuerza máxima de extracción del cilindro es la necesaria para ejercer el movimiento de la carga del núcleo cuando esté pasando de 0° (horizontal) a 90° (vertical), ahora se determinará la fuerza de retracción cuando esté en el punto donde el núcleo está optando la posición de vertical a horizontal que se verá en la ecuación 6.

Ecuación 7. Fuerza retracción del pistón

F= Fuerza del cilindro hidráulico

P=Presión del sistema hidráulico

A=Área anular

$$F = P * A$$

$$F = 1000 [psi] * 5,30 [pulgadas]^2$$

El valor de la presión de 1000 psi es suministrada por un fabricante de sistema hidráulicos.

$$F = 5300 [Libra - fuerza]$$

Haciendo conversión de Libra-fuerza a Newton

$$F = 5300 [Libra - fuerza] * \frac{4.44822 [N]}{1 [Libra - fuerza]}$$

$$F = 23575 [N]$$

Los cálculos hechos anteriormente, determinan que el peso de la máquina es de 20580[N], esto con respecto a los valores del cilindro cuando hace la retracción, se evidencia que la fuerza es la objetiva para hacer el movimiento de la carga de la máquina cuando se haya hecho el izaje es decir que el núcleo ya está en el suelo.

Ahora bien, para determinar el caudal que necesita el sistema se verá reflejado a partir de la siguiente ecuación.

Q=Caudal

VA=Volumen de avance

TA=Tiempo el cual la mesa tarda de pasar de 0° (horizontal) a 90° (vertical)

Ecuación 8. Caudal del sistema

$$Q = \frac{V}{T}$$

Siendo así, se saca primero el volumen de avance el cual es dado por:

Ecuación 9. Volumen de avance

$$\text{Volumen de avance} = \text{Area de pistón} * \text{Carrera Cilindro}$$

$$\text{Volumen de avance} = 7,06[\text{pulgadas}]^2 * 36[\text{pulgadas}]$$

$$\text{Volumen de avance} = 7,06[\text{pulgadas}]^2 * 36[\text{pulgadas}]$$

$$\text{Volumen de avance} = 254,1[\text{pulgadas}]^3$$

Ya determinado el volumen de avance a partir de la ecuación 8 ya se puede calcular el caudal que pasa por el sistema hidráulico (ecuación 7).

$$Q = \frac{V}{T}$$

$$Q = \frac{254,1[\text{pulgadas}]^3}{5[\text{min}]}$$

$$Q = 50.8[\text{pulgadas}]^3/[\text{min}]$$

Al anterior resultado se hace la respectiva conversión a galones/min

$$Q = \frac{50.8[\text{pulgadas}]^3}{[\text{min}]} * \frac{1[\text{Galón}]}{231[\text{pulgadas}]^3}$$

$$Q = 0.21 \frac{[\text{Galón}]}{[\text{min}]}$$

El caudal calculado es el necesario para que el sistema tenga un buen funcionamiento, por otro lado se determinará el tiempo el cual se demora en hacer el descenso la mesa, ya que el ascenso es de 5 minutos, para esto se determina a partir de la siguiente ecuación 9.

Q=Caudal

V_r=Volumen de retroceso

Tr=Tiempo el cual la mesa tarda de pasar de 90° (vertical) a 0° (horizontal)

Ecuación 10. Tiempo de descenso

$$Tr = \frac{Vr}{Q}$$

Ecuación 11. Volumen de retroceso

*Volumen de retroceso = Area anular * Carrera Cilindro*

$$\text{Volumen de retroceso} = 5,30[\text{pulgadas}]^2 * 36[\text{pulgadas}]$$

$$\text{Volumen de retroceso} = 5,30[\text{pulgadas}]^2 * 36[\text{pulgadas}]$$

$$\text{Volumen de retroceso} = 190.8[\text{pulgadas}]^3$$

Ya determinado el volumen de retroceso a partir de la ecuación 10 ya se puede calcular el tiempo de caída de la mesa (ecuación 9).

$$TR = \frac{VR}{Q}$$

$$TR = \frac{190.8[\text{pulgadas}]^3}{50.8[\text{pulgadas}]^3/[\text{min}]}$$

$$TR = 3.75\text{min}$$

El valor del tiempo de retroceso es de 3,75 minutos es decir 3 minutos y 47 segundos lo cual refiere que la mesa tarda ese tiempo en volver a la posición horizontal, seguidamente se buscará la potencia de la bomba, la cual es especificada por la siguiente ecuación 11.

P= Potencia

Fc= Fuerza del cilindro

Va= Velocidad de avance

Ecuación 12. Potencia de la bomba

$$P = Fc * Va$$

Donde Va es determinada por la ecuación 12 y el tiempo de avance son 5 minutos que si lo pasamos a segundos será de 300 segundos.

Ecuación 13. Velocidad de avance

$$Va = \frac{\text{Carrera cilindro}}{\text{Tiempo de avance}}$$

$$Va = \frac{36 [\text{pulgadas}]}{300 [\text{s}]}$$

$$Va = 0,12 \frac{[\text{pulgadas}]}{[\text{s}]}$$

Seguidamente se determina la potencia de la bomba con la ecuación 11

$$P = Fc * Va$$

$$P = 7060[\text{Libras}] * 0,12 \frac{[\text{pulgadas}]}{[\text{s}]}$$

$$P = 847 \frac{[\text{Libras}] * [\text{pulgadas}]}{[\text{s}]}$$

El resultado establecido se convierte a HP donde se hace la siguiente conversión

$$P = 847 \frac{[\text{Libras}] * [\text{pulgadas}]}{[\text{s}]} * \frac{1[\text{ft}]}{12[\text{pulgadas}]^1} * \frac{1[\text{HP}]}{550 \frac{[\text{Libras}] * [\text{ft}]}{[\text{s}]}}$$

$$P = 0,12\text{HP}$$

Este valor es la potencia del motor para poder ejercer el trabajo de mover el fluido, pero para la elección correcta del motor el fabricante muestra un catálogo de motores.

Tabla 6. Catálogo de motores.

VALORES ELÉCTRICOS MOTORES SERIE 1LE0141

Potencia	Referencia del motor	Tamaño constructivo	Rated Speed	Eficiencia 100%	Factor de potencia	Corriente nominal			Torque nominal	Datos de arranque			Peso kg	
kW	HP		rpm	%		220V A	380V A	440V A	Nm	Corriente de arranque x Ia	Torque de arranque x Tn	Torque Máximo x Tn	kg	
Datos eléctricos motores Serie 1LE0141 IE2 2 Polos 3600 rpm														
0,75	1	1LE0141-0DA36-4AA4	80M	3450	75,5	0,81	3,2	1,85	1,6	2,1	6	2,2	3	14,0
1,1	1,5	1LE0141-0DA36-4AA4	80M	3440	82,5	0,83	4,3	2,5	2,15	3,1	7	2,8	3	16,0
1,5	2	1LE0141-0DA86-4AA4	80M	3450	84,0	0,83	5,6	3,25	2,8	4,2	7	2,8	3	18,0
2,2	3	1LE0141-0EA46-4AA4	90L	3500	85,5	0,87	7,9	4,55	3,95	6,0	8	2,8	3	28
3	4	1LE0141-0EA86-4AA4	90L	3505	87,5	0,87	10,3	6	5,1	8,2	8	2,8	3	28
3,7	5	1LE0141-1AA86-4AA4	100L	3440	87,5	0,88	12,7	7,4	6,4	10,3	8	3	3,5	40
5,5	7,5	1LE0141-1BA86-4AA4	112M	3510	88,5	0,88	18,8	10,9	9,4	15,0	8	3	3,5	45
7,5	10	1LE0141-1CA16-4AA4	132S	3525	89,5	0,88	25	14,4	12,4	20,3	8,5	2,3	3,5	70
11	15	1LE0141-1CA86-4AA4	132S	3535	90,2	0,88	37	21,5	18,5	29,8	8,5	2,3	3,5	75
15	20	1LE0141-1DA36-4AA4	160M	3535	90,2	0,84	52	30	26	40,5	7,5	2,3	3,5	95
18,5	25	1LE0141-1DA46-4AA4	160L	3530	91,0	0,86	63	36	31,5	50	7,5	2,3	3,5	115
22	30	1LE0141-1DA86-4AA4	160L	3530	91,0	0,88	73	42,5	36,5	59,5	7,5	2,3	3,5	125
30	40	1LE0141-2AA46-4AA4	200L	3558	91,7	0,89	96	56	48	80,5	8,5	3	3,5	260
37	50	1LE0141-2AA56-4AA4	200L	3556	92,4	0,89	119	60	60	99,4	8,5	3	3,5	275
45	60	1LE0141-2BA26-4AA4	225M	3570	93,0	0,88	143	83	72	120	8,5	2,6	3	325
55	75	1LE0141-2BA86-4AA4	225M	3560	93,0	0,88	179	104	90	148	8,8	2,6	3	340
75	100	1LE0141-2CA86-4AA4	250M	3570	93,6	0,89	235	136	117	201	7,5	2,2	3	430
90	125	1LE0141-2DA23-3AA4	280M	3578	94,5	0,89			145	240	8	2,5	3	610
110	150	1LE0141-2DA83-3AA4	280M	3578	94,5	0,88			177	294	8	2,5	2	600
150	200	1LE0141-3AA23-3AA4	315M	3578	95,0	0,91			225	400	8	2,1	2,7	985
185	250	1LE0141-3AA63-3AA4	315L	3582	95,4	0,92			280	493	8	2,1	2,7	1140

En el anterior catalogo y con el cálculo teórico de los HP requeridos para mover sistema, se escogerá un motor de 1 HP el cual tiene un valor más alto al calculado, esto quiere decir que tendrá un trabajo fluido para todo el sistema.

Ahora se calculará el diámetro de las mangueras a manejar para el sistema hidráulico el cual está reflejado en la siguiente ecuación 13.

Ecuación 14 .Diámetro de mangueras

Dónde:

A= área de mangueras

Q= Caudal

Va= Velocidad de avance

$$A = \frac{Q}{Va}$$

$$A = \frac{50,8 \frac{[pulgadas]^3}{[min]} \times \frac{1[min]}{60[s]}}{0,12 \frac{[pulgadas]}{[s]}}$$

$$A = \frac{0,84 \frac{[pulgadas]^3}{[s]}}{0,12 \frac{[pulgadas]}{[s]}}$$

$$A = 7.05 [pulgadas]^2$$

Ecuación 15. Diámetro de tubería

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 7.05 [pulgadas]^2}{\pi}}$$

$$D = 2.99 [pulgadas]$$

Catálogo de mangueras

Tabla 7. Catálogo de mangueras.

EXCEDE SAE 100R2AT

Manguera dos mallas metálicas

Descripción: Manguera hidráulica de dos mallas metálicas media presión.

Tubo interior: Negro, goma sintética resistente al aceite.

Recubrimiento: Negro, goma sintética resistente al aceite, agua, ozono.

Refuerzo: 2 mallas metálicas.

Temperatura: -40°C a +100°C intermitente hasta 125°C para fluidos basados en petróleo.
-40°C a +70°C para fluidos basados en agua.

Aplicaciones: Sistemas hidráulicos con fluidos basados en petróleo o agua/gly- col y para aceites y lubricantes.

Terminal: PF-xxxx

Casquillo: PT-30xx/PT-20xx



Diámetro interior (in) (mm)		Diámetro sobre malla (in) (mm)		Diámetro exterior (in) (mm)		Máxima presión trabajo (psi) (bar)		Mínima presión rotura (psi) (bar)		Radio curvatura (in) (mm)		Peso (kg/mtr)
3/16	4,8	0,441	11,2	0,555	14,1	6000	415	24000	1650	3,5	90	0,31
1/4	6,3	0,500	12,7	0,618	15,7	5800	400	23200	1600	4,0	100	0,37
5/16	8,0	0,563	14,3	0,681	17,3	5075	350	20300	1400	4,5	115	0,42
3/8	9,5	0,657	16,7	0,776	19,7	4785	330	19140	1320	5,0	130	0,53
1/2	12,9	0,780	19,8	0,906	23,0	3985	275	15950	1100	7,0	180	0,63
5/8	15,9	0,906	23,0	1,035	26,3	3625	250	14500	1000	8,0	200	0,76
3/4	19,0	1,063	27,0	1,189	30,2	3115	215	12325	850	9,5	240	0,94
1	25,4	1,374	34,9	1,528	38,8	2390	165	9425	650	12,0	300	1,43
1 1/4	31,8	1,748	44,4	1,921	48,8	1810	125	7250	500	16,5	420	2,38
1 1/2	33,1	2,000	50,8	2,173	55,2	1305	90	5220	360	19,5	500	2,57
2	50,8	2,500	63,5	2,673	67,9	1160	80	4640	320	25,0	630	3,16
2 1/2	63,1	2,984	75,8	3,189	81,0	1015	70	5510	380	29,92	760	4,19
3	75,5	3,472	88,20	3,661	93,0	510	35	2680	185	35,43	900	4,50

Del anterior calculo hecho para determinar el diámetro de la manguera y con uso del catálogo, se escogerá el de diámetro 3” ya que permite la fluidez del aceite y así mismo esta tiene la propiedad de soportar una temperatura la cual no permite un recalentamiento del sistema hidráulico.

Ahora bien, las ecuaciones que se proporcionaron son para que un cilindro que pueda lograr que la máquina tenga elevación, y cumpla con su proceso de izaje, todo esto mediante el sistema hidráulico, y lo explicado anteriormente de su funcionamiento. En la siguiente ilustración se muestra el modelo 3D de cómo quedaría el sistema hidráulico de la máquina cuando se haga el izaje. (Ver figura 38). Comentar gráfica de la máquina en vertical 90



Figura 38. .Modelo 3D de sistema hidráulico de máquina de izaje. Fuente: Elaboración Propia

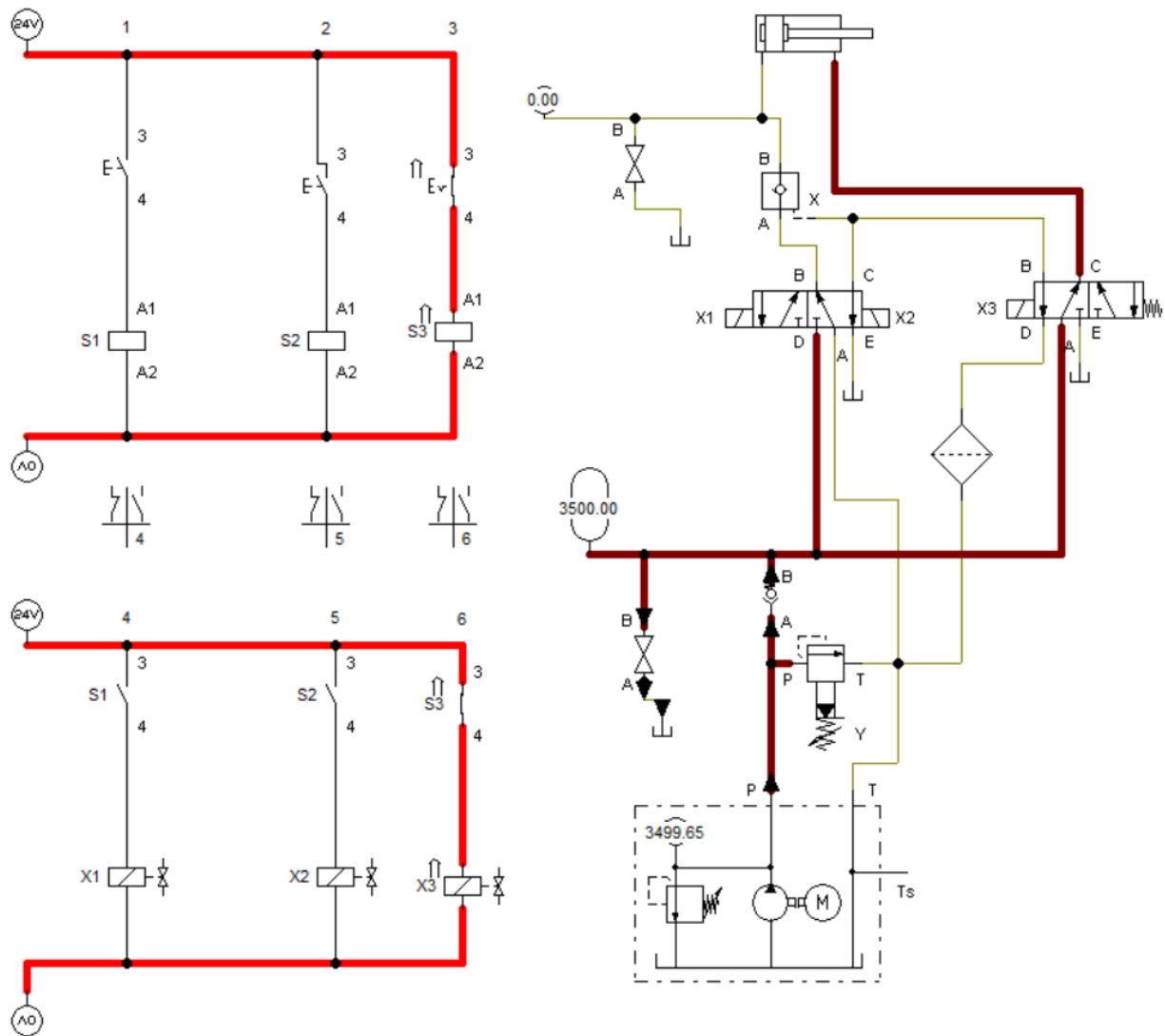


Figura 39. Diseño hidráulico en software con cilindro retraído. Fuente: Elaboración Propia

Visualizando la figura 39 se muestra el diagrama de diseño hidráulico que se hizo en el software Fluid sim – H donde se puede verificar la efectividad de funcionamiento del proceso, el cual cuenta con un cilindro hidráulico con las siguientes dimensiones: diámetro de pistón 3”, diámetro de vástago 1.5” y el recorrido del vástago será de 36”, estos datos fueron especificados

por un proveedor hidráulico de la empresa TESLA el cual especifica tuberías, caudales, velocidades, mangueras y válvula de alivio.

La figura 39 detalla que el cilindro hidráulico de la mesa se encuentra contraído con lo cual se intuye que esta con un grado de inclinación horizontal (0°) por lo tanto en este momento es cuando se está armando el núcleo del transformador, el inicio de carga del sistema se encuentra cerrado lo cual se verifica con la electroválvula de ejecución que da el estado de cierre del cilindro.

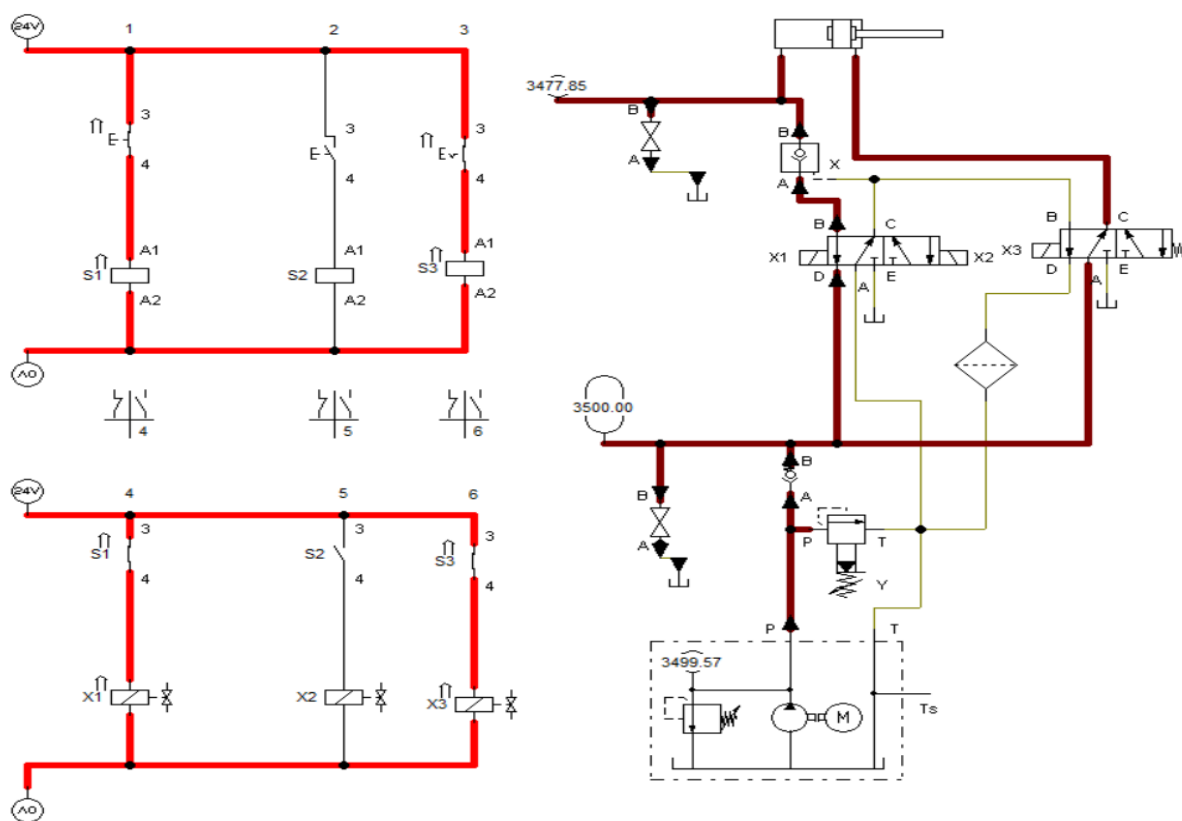


Figura 40. Diseño hidráulico en software con cilindro extendido. Fuente: Elaboración propia

La figura 40 podemos observar como conmuta la electroválvula y realiza la acción de salida del cilindro, siendo así la mesa esta con un grado de inclinación vertical (90°) es decir que el núcleo ya está izado.

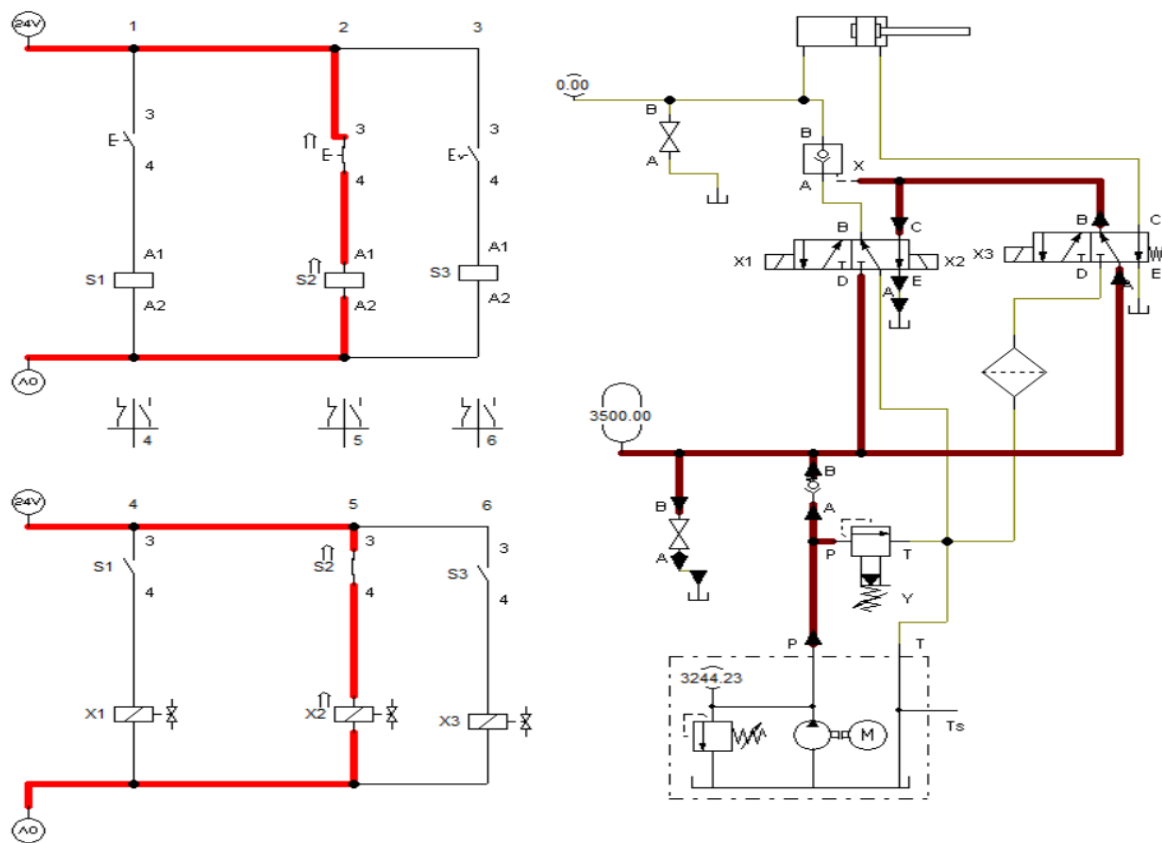


Figura 41. Diseño hidráulico en software bloqueo de sistema. Fuente: Elaboración propia

En la figura 41 se detalla la seguridad hidráulica con la cual fue diseñado el sistema, como se visualiza en el momento que la electroválvula de seguridad deja de conmutar regresando a la posición inicial por muelle, genera un bloqueo en el sistema utilizando un acumulador el cual mantiene la presión del cilindro evitando el descenso repentino.

Bien, luego de analizados los cálculos y los diseños del modelo hidráulico del proyecto se procederá a explicar un poco como es el funcionamiento de dicho diseño, este sistema consta de 1 cilindro, puesto que con este sistema es posible no solo mantener un nivel de fuerza óptimo para el levantamiento e izaje de los núcleos, sino también para mantener un óptimo movimiento de la misma.

Como se mencionó anteriormente este sistema cuenta con un cilindro que le da estabilidad, movimiento, y fuerza a la máquina de izaje.

El cilindro es el encargado de levantar la máquina en donde van a estar acomodados los núcleos, este está ubicado debajo de las columnas de soporte anteriormente mencionadas. El cilindro es el más importante puesto que, debe soportar el peso no solo de la máquina, sino también de los núcleos de transformador.

La función principal del cilindro es la inclinación de la mesa, para que quede en posición horizontal para realizar el ensamblaje de los núcleos con los transformadores.

Ya por último se encuentra que el mismo cilindro tiene la función de anclar la base móvil de la mesa a una posición vertical con el fin de hacer papeles de soporte y desmonte de núcleo, es también importante dentro del proceso de izaje, puesto que con este conjunto se evita accidentes laborales derivados del proceso de inclinación de la misma.

Para el correcto funcionamiento del sistema hidráulico se empleara una bomba de 1.5 galones de montaje vertical con presión regulable de 500 a 3000 psi, una válvula de alivio con regulador de presión marca AKO ARMATUREN, un motor marca TECHTOP es de 1 HP a 1750 RPM y un tanque de 14 galones para el deposito del aceite, el cual es de referencia ISO 68, debido a sus propiedades antioxidantes que protegen contra herrumbre y desgaste, toda la información es suministrada por el fabricante de sistemas hidráulicos.

Además del cilindro, la bomba, el motor y el tanque, el sistema hidráulico contiene dos electroválvulas marca Burket, de características 5/2 mono estable con bobina a 220 V que funcionarán para el ascenso y descenso de la máquina.

3.4. Fase 4 Diseño y automatización de mesa.

Para el diseño y automatización de la mesa se consideran las fases de diseño mecánico y diseño hidráulico, ya que estas permiten el correcto funcionamiento de la mesa, teniendo en cuenta lo anterior se procede a automatizar la mesa para que cumpla con el movimiento sugerido, para cumplir con el objetivo de dar el grado de inclinación se usarán los siguientes componentes de control:

- PLC
- Pantalla delta
- Contactores
- Final de carrera
- Electroválvula

Donde se entiende que este conjunto de componentes de control mencionado anteriormente son los apropiados para que la máquina ejecute un correcto funcionamiento, para esto en la ilustración 28 se mostrará el proceso de lo que hará la máquina conjunto con la programación.

Ahora bien, la necesidad de mejorar continuamente los procesos de la empresa, se desea automatizar la mesa de armado de núcleos por medio de una interfaz de fácil comprensión para los colaboradores.

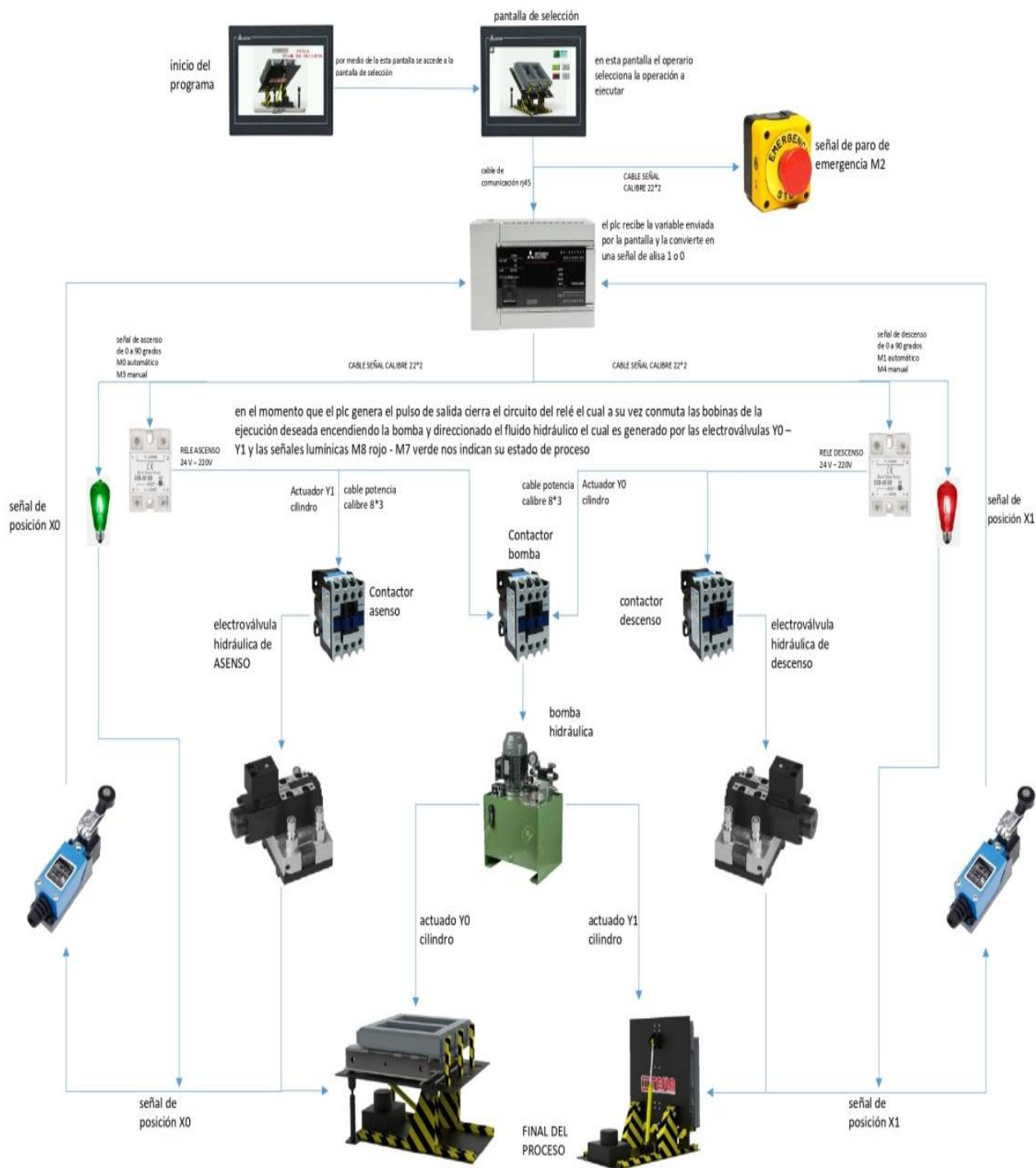


Figura 42. Proceso de operación. Fuente: Elaboración propia

En la figura 42 se muestra que la mesa de apilado de núcleos cuenta con una pantalla Delta de 10", la cual presenta dos pestañas de interacción, la primera es una pantalla de inicio con clave,

la segunda muestra las cuatro posibles formas de funcionamiento de la máquina que son el ascenso y descenso automático, ascenso y descenso controlado.

El sistema automático y controlado son para el ascenso como para el descenso, esto estará nombrado así mismo con las variables M0, M3, M1, M4, las anteriores variables son señales de salida, las cuales viajan a través de un cable de datos Rj45 llevando la información al PLC, el cual toma estas variables y las convierte en salidas de “unos y ceros”. Las variables Y0 y Y1 realizan la acción de conmutar los relés a 24 V - 220 V. Los relés generan un paso de 220 V para la conmutación de las bobinas y de esta manera poder energizar el sistema bien sea en ascenso o descenso, estos contactos cumplen la función de energizar las electroválvulas las cuales guían el fluido hidráulico cumpliendo con su operación, la bomba hidráulica ejecuta los ascensos y descensos accionando los finales de carrera los cuales envían señales de 0 – 1, estos se encuentran definidos con la variable de X0 o X1 indicando el cambio de posición y el estado actual de la mesa, las señales lumínicas indican la elección tomada por el operario y el final de carrera el cual está ubicado en los extremos de la mesa, el paro de emergencia se encuentra al inicio de la programación bloqueando en su totalidad la máquina hasta que sea desbloqueada manualmente, lo cual deshabilita la señal M2 y desbloquea el sistema hidráulico colocando la máquina en un estado para dar la orden de proceso generado por el operario.



Figura 43. Proceso de izaje. Fuente: Elaboración Propia

La figura 43 presenta la pantalla de inicio. Una vez se hace clic en “inicio de proceso”, aparece una segunda interfaz (ilustración 42) en el cual se eligen las funciones de ascenso (Up) y descenso (Down), que son ejecutadas por un operario calificado para realizar el izaje de los núcleos y pueden ser automáticas o manuales (ver ilustración 42).



Figura 44. Elevamiento de núcleo. Fuente: Elaboración propia

Para la figura 42 visualizamos la pantalla con la segunda interfaz, donde el operario selecciona el modo con el cual desea realizar el ascenso o descenso del núcleo definiendo un movimiento automático o manual, se procederá de darle un cambio de ángulo de 0° a 90° o viceversa.

A continuación encontraremos la programación del PLC la cual se desarrolló en lenguaje Ladder, siendo así el control del sistema y parámetros de funcionamiento, el código se presentará en las siguientes ilustraciones (45, 46, 47, 48).

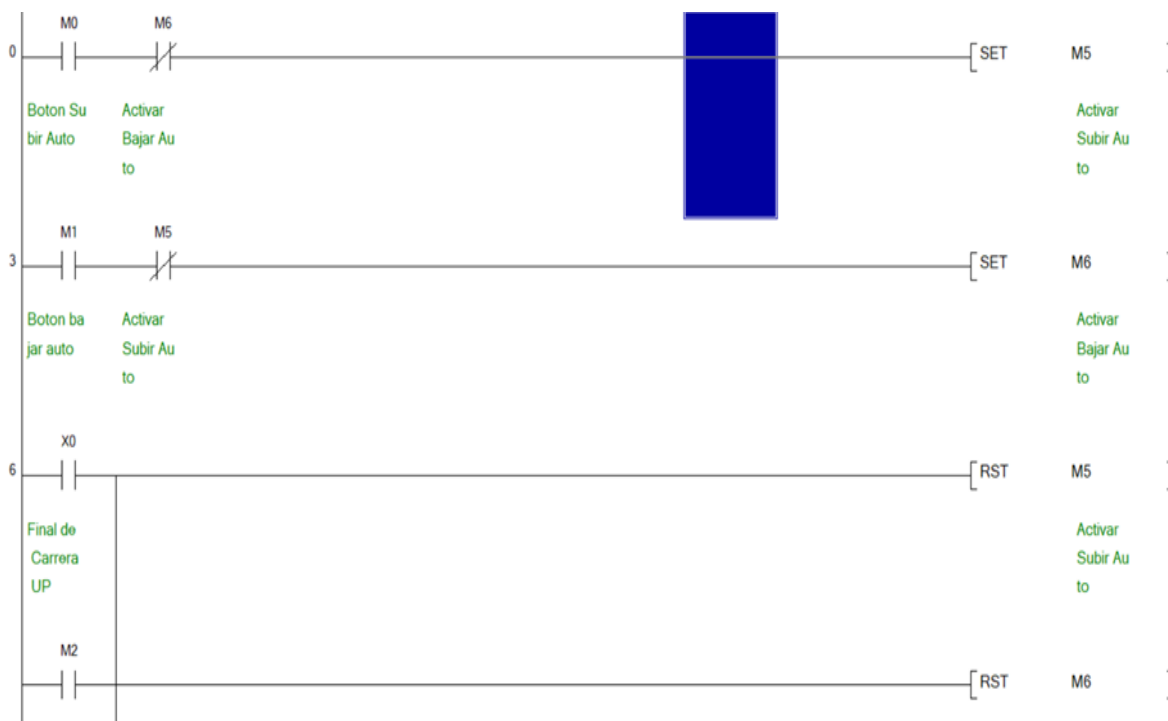


Figura 45. Línea de código parte 1. Fuente: Elaboración Propia

Observando la figura 45 se muestra los SET y los RESET que se generan en el momento de conmutar las variables M0, M1, M5, M6, y las señales de deshabilitar el proceso seleccionado los cuales son ejecutados por los finales de carrera X0 y X1, evitando que el sistema hidráulico sufra un sobre esfuerzo, es decir que el cilindro siga contrayéndose o extendiéndose más de los grados necesarios para su correcto funcionamiento, lo cual estrellaría la maquina con los pivotes a 0° (posición horizontal) o bases principales a 90° (posición vertical) .



Figura 46. Línea de código parte 2. Fuente: Elaboración Propia

Detallando la figura 46 muestra el bloqueo de paro de emergencia con la variable M2 y la acción de Y0, la cual genera la conmutación de la electroválvula y encendido de la bomba hidráulica, donde realiza la acción de salida del vástago ejecutando el ascenso de la mesa.

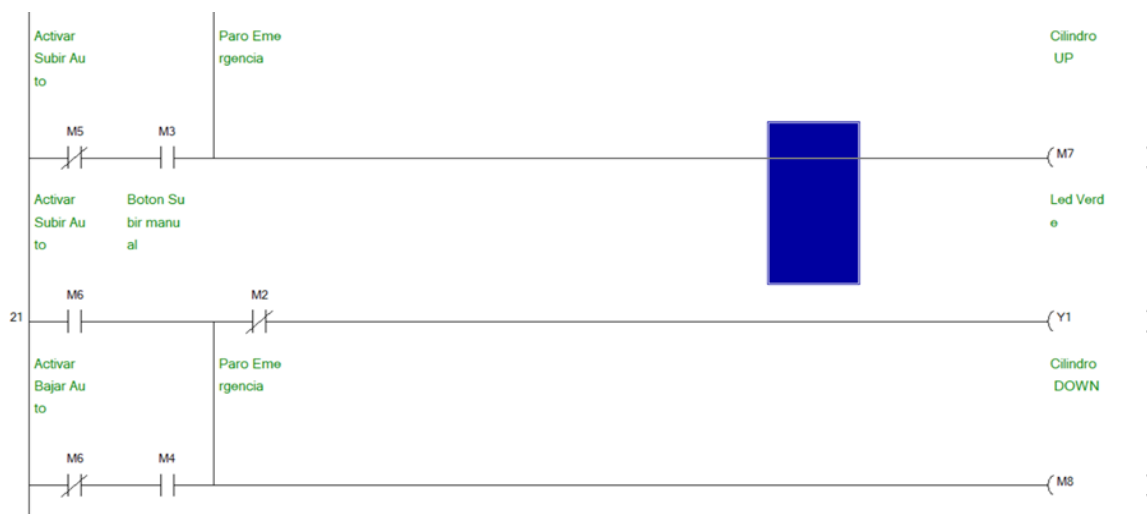


Figura 47. Línea de código parte 3. Fuente: Elaboración Propia

Visualizando la ilustración 47 se detalla el encendido de los Led de indicación, los cuales son conmutados por las variables M5, M3, M6, M4 mostrando de manera visual el proceso ejecutado por la mesa.

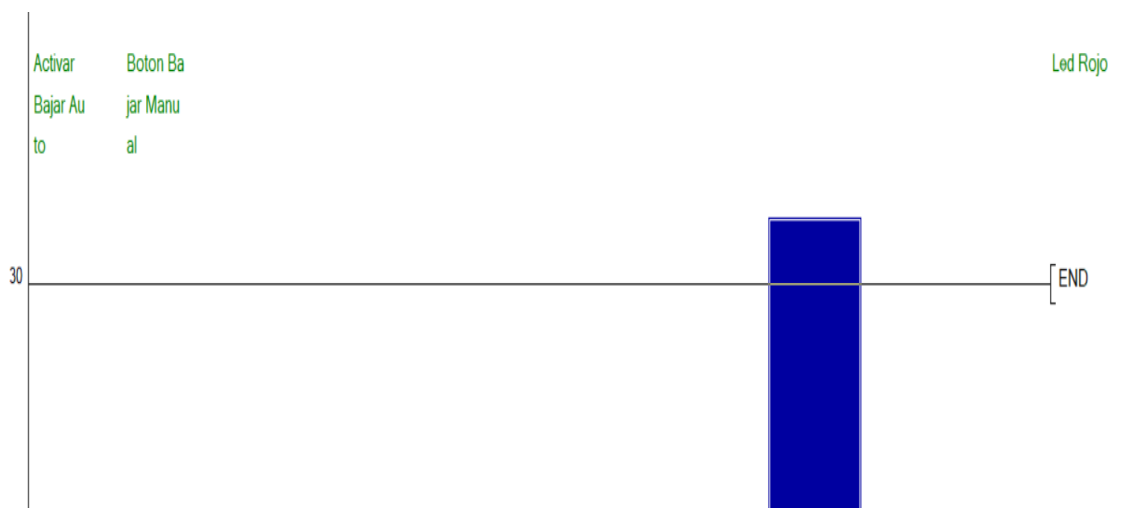


Figura 48. Línea de código parte 4. Fuente: Elaboración Propia

Para la figura 48 observamos el final de la línea de código dando paso al siguiente proceso el cual será ejecutado por el colaborador.

Un operario calificado y capacitado para el izaje seleccionará uno de los 4 estados de ejecución (ver figura 44) los cuales generan los estados de ascenso automático, descenso automático, ascenso controlado y descenso controlado.

La ejecución de estos estados llevará a cabo la activación de las salidas del PLC fx5u, el cual fue programado con el software (MELSOFT GX works2), estas salidas conmutarán los relés a 220 V dando el paso de potencia para el encendido de la bomba hidráulica y a su vez la conmutación de las electroválvulas hidráulicas, generando el ascenso o descenso de la mesa, las alarmas lumínicas indican el estado actual de la mesa.

Posteriormente el PLC entra a estado de espera de tres señales específicas, como los son los finales de carrera los cuales están ubicados en la parte superior e inferior de la mesa indicando en qué estado se encuentra el proceso, el tercero de ellos es un paro de emergencia que

bloquea el sistema y la bomba en caso de ser necesario, de esta manera se garantiza la seguridad del operario impidiendo la caída inesperada de la mesa la cual es apoyada por el acumulador del sistema hidráulico.

Conclusiones

- Debido al diseño y la creación de este proyecto y además el beneficio tan alto que le causaría a la empresa, desde evitarse una demanda legal por un accidente laboral, se llega a la conclusión que el proyecto es viable, y que tiene una gran posibilidad de desarrollarse.

Teniendo unas bases sólidas, puesto que se realizó con la fuente de investigación pertinente para la escala del proyecto, su viabilidad y su proyección a futuro es buena, convirtiéndolo en un producto novedoso y con una repercusión con gran impacto, tanto a nivel social, puesto que, puede evitar accidentes laborales que les cuestan a las empresas altas cantidades de dinero y aumentos en la producción con la reducción de tiempos de alrededor de 45 minutos.

- Teniendo en cuenta los métodos actuales de izaje y el tiempo gastado en ellos se concluye que con el desarrollo de la máquina se disminuirán los tiempos operativos, se aumentara la eficiencia del equipo, y se mitigarán los incidentes y/o accidentes laborales.

- De acuerdo al diseño estructural y análisis estático modelado por Solidworks es viable fabricar la mesa, debido a que la lámina HR de 3/8" es de uso cotidiano, esto con lleva a que el material contenga las propiedades necesarias para cumplir la función de no afectar la calidad del producto armado.

- Del análisis del diseño del sistema hidráulico se deduce que los cálculos realizados son de gran utilidad, ya que proporcionaron la fuerza necesaria para hacer el elevamiento de todo el sistema. Teniendo en cuenta que 1 solo cilindro basto para elevar la mesa con el núcleo.

- El diseño de la mesa proporciona seguridad al empleado, ya que garantiza que no haya deslizamiento de láminas en el momento del izaje del núcleo, debido a que el proceso de elevamiento de la mesa se hará con mayor facilidad y firmeza.

Bibliografía

1. La importancia del PLC en la Industria - AUTYCOM. (25/10/2022). *AUTYCOM*.
2. *AUTYCOM*. (s.f.). Recuperado el 25 de 10 de 2022, de AUTYCOM:
<https://www.autycom.com/importancia-del-plc-en-la-industria/>
3. Bocanegra, S. Y., Montoya, O. D., & Cabrera, A. M. (2020). *Estimación de parámetros en transformadores monofásicos empleando medidas de tensión y corriente*. Bucaramanga: Revista UIS Ingeniería.

4. *Cilindros Hidráulicos* . (s.f.). Recuperado el 12 de 10 de 2022, de TFM TUBERIA Y FLECHA MECANICA TUBO HONEADO BARRA HUECAS HONEADAS CILINDROS HIDRAULICOS BARRENADO PROFUNDO MAQUINADOS DE PRECISION MEXICO.
5. *Control contactor 40A AC1 25A AC3 120V NC1 2510 Chint*. (s.f.). Recuperado el 19 de 10 de 2022, de Electroservimos: <https://electroservimos.co/contactores-y-reles/559-control-contactor-40a-ac1-25a-ac3-120v-nc1-2510-chint.html>
6. *Delta Electronics Distribuidor*. (s.f.). Recuperado el 25 de 10 de 2022, de <https://deltaelectronicsdistribuidor.com/pantallas-hmi-delta/>
7. Garcia Moreno, E. (1999). *Automatizacion de procesos industriales*. Valencia: Universitat Politecnica de Valencia.
8. GERMH. (s.f.). *Maquinas Automatizadas*. Obtenido de GERMH: <https://www.germh.com/automatizadas.html>
9. GSL Industrias. (21 de Julio de 2021). *Transformador Monofasico*. Obtenido de GSL INDUSTRIAS: https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/transformador_monofasico#:~:text=El%20transformador%20monof%C3%A1sico%20es%20un,la%20potencia%20de%20dichos%20sistemas.
10. Guevara Lozano, M. (2015). *La importancia de prevenir los riesgos laborales en una organización*. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

11. *Micro switch final de carrera con brazo rodillo ME-8104*. (s.f.). Recuperado el 19 de 10 de 2022, de Didácticas Electrónicas:
<https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/suiches-y-conectores/suiches/final-de-carrera/con-rodillo-1/micro-switch-final-de-carrera-con-brazo-rodillo-me-8104-interruptores-switch-suiches-finales-de-carreras-con-pist%C3%B3n-de-con-rodillo-de-pelo-de>
12. Ministerio de salud. (1 de Febrero de 2022). *Estadísticas ARL*. Obtenido de Ministerio de salud:
<https://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/RiesgosLaborales/Paginas/indicadores.aspx>
13. Olivares Galvan, J. C., Vanegas , M., & Magdaleno, S. (2018). *La Historia del Transformador*. Atzapozalco: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.
14. Pacheco, C., & Saucedo , L. (2018). *DISEÑO MECÁNICO DE UNA MESA DE APILADO DE NÚCLEO PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIA*. Córdoba: UNC.
15. Perez Londoño, S. M., & Lopez Quintero, J. G. (2018). *Transformadores Electricos*. Pereira: Universidad Tecnologica de pereira.
16. Rodriguez Pozueta, M. A. (2012). *Transformadores*. Cantabria: Universidad de Cantabria.

17. Rondon , I., Calanche, V., & Rojas, F. (2013). *Metodología para estimar la vida útil del autotransformador at-4, 700 mva de la subestación guayana B debido a sobrecargas.*
Ciudad Guayana: Universidad Ciencia y tecnología.
18. Samboní Loaiza, Y. E. (2016). *IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE TRANSFORMADOR TRIFÁSICO PARA EL ESTUDIO DE FERRORESONANCIA EN TRANSFORMADORES CONECTADOS A TRAVÉS DE CABLES SUBTERRÁNEOS.*
Cali: Universidad del Valle.
19. triunfo, A. (2010). AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL. pag 4.
20. Villalobos, E. (s.f.). *Automatizacion Industrial: Un poco sobre su Evolucion e historia.*
Obtenido de Timetoast: <https://www.timetoast.com/timelines/un-poco-sobre-la-evolucion-historica-de-la-automatizacion-industrial>
21. Walter Brokering, R. P. (2018). *Atrapando el sol en los sistemas eléctricos de potencia.*

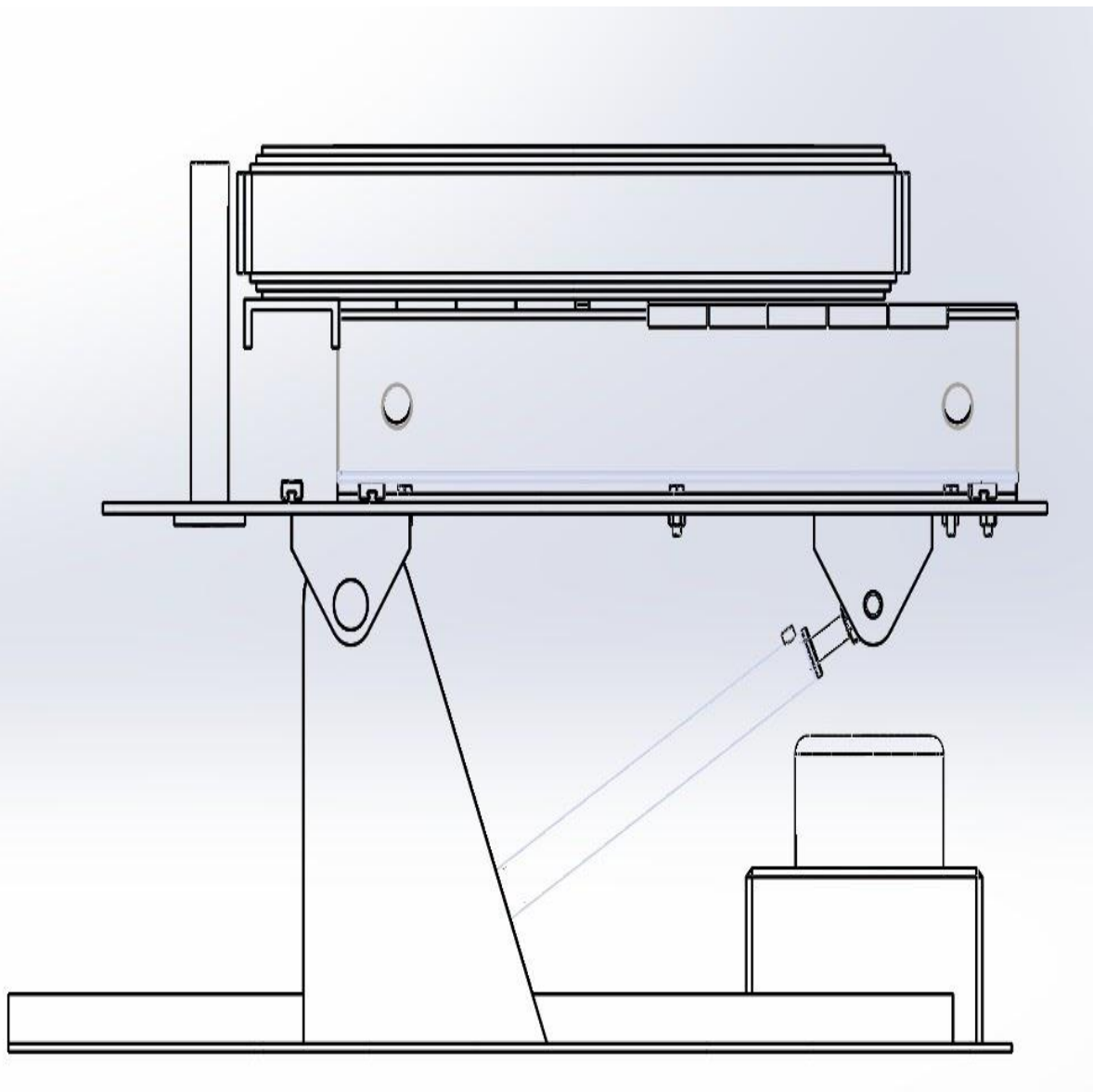
Anexos

Anexo A. Núcleo apilado en la empresa TESLA

Fuente Elaboración propia

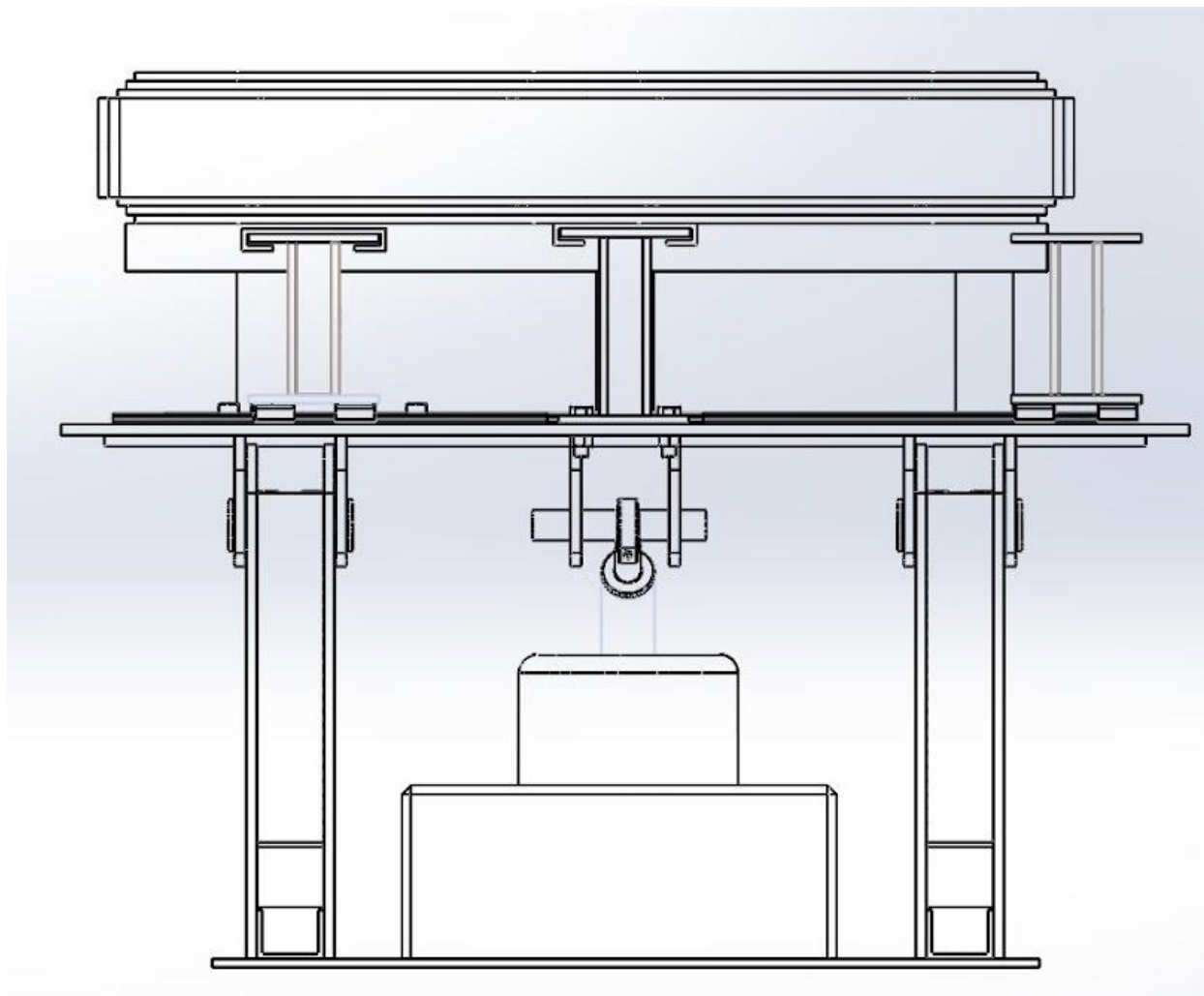


Anexo B. Plano de fabricación del diseño de la estructura de mesa vista: Lateral

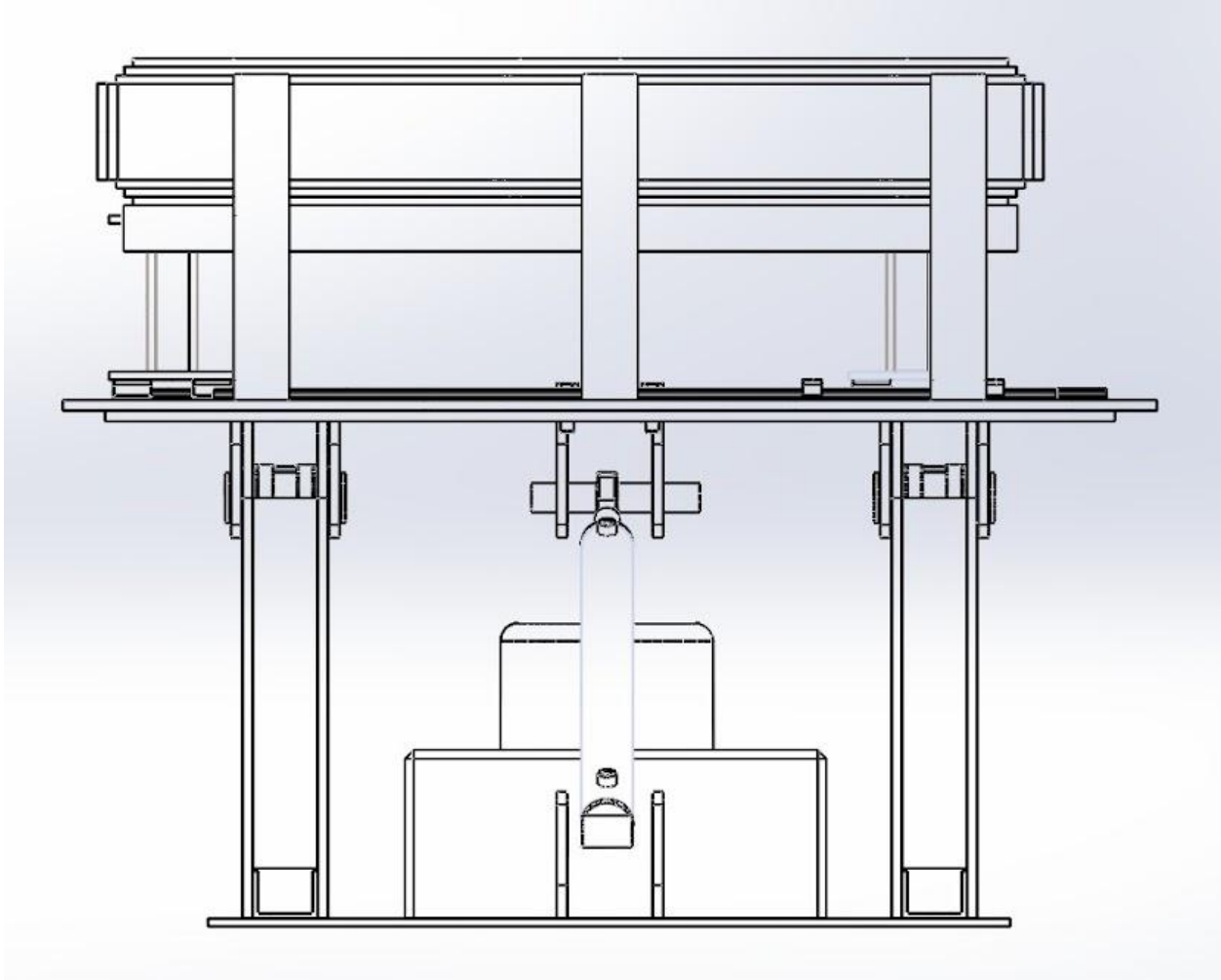


Fuente: Elaboración propia

Anexo C. Planos de fabricación del diseño de la estructura de la mesa vista: Frontal



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

