

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



Diseño de un estacionamiento vertical automatizado para incrementar la zona de parqueo en una universidad de la región Lambayeque

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Carlos Eliott Salas Reaño

ASESOR

Dante Omar Panta Carranza

<https://orcid.org/0000-0002-4731-263X>

Chiclayo, 2024

Diseño de un estacionamiento vertical automatizado para incrementar la zona de parqueo en una universidad de la región Lambayeque

PRESENTADA POR
Carlos Eliott Salas Reaño

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Jorge Alberto Villanueva Zapata

PRESIDENTE

Luis Alberto Gonzales Bazán

SECRETARIO

Dante Omar Panta Carranza

VOCAL

Dedicatoria

A mis padres, abuelos y tíos.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por haberme regalado una familia maravillosa.

A mis padres, cuya guía y apoyo incondicional han sido mi fuente de inspiración, especialmente a mi madre Sylvia que es mi pilar en todo momento. Gracias por tus sacrificios, comprensión, amor, consejos y por estar siempre a mí lado, brindándome fuerza y ánimo.

A mi abuela Ruth, cuyo amor y sabiduría han dejado una marca imborrable en mi vida. Gracias por tus consejos y por enseñarme la importancia de la perseverancia y el valor del conocimiento.

A mi tío Carlos Santiago, por sus consejos, guía y motivación para lograr mis metas.

A mi asesor, Ing. Dante Omar Panta Carranza, por su orientación y transmisión de conocimientos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Jorge Alberto Villanueva Zapata por su ayuda y apoyo brindado en la parte de automatización. Su disposición para colaborar fue crucial para llevar a cabo este presente trabajo.

A mis amigos, quienes con su compañía, consejos y palabras de aliento contribuyeron también a mi crecimiento académico y personal.

DISEÑO DE UN ESTACIONAMIENTO VERTICAL AUTOMATIZADO PARA INCREMENTAR LA ZONA DE PARQUEO EN UNA UNIVERSIDAD DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Militar Nueva Granada Trabajo del estudiante	1%
5	repository.uamerica.edu.co Fuente de Internet	<1%
6	laccei.org Fuente de Internet	<1%
7	www.tecgraf.puc-rio.br Fuente de Internet	<1%
8	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN:	13
II. JUSTIFICACIÓN:	14
2.1 Tecnológica	14
2.2 Económica	14
2.3 Ambiental	14
2.4 Social	14
III. OBJETIVOS:	15
3.1 Objetivo general	15
3.2 Objetivos específicos	15
IV. MARCO TEÓRICO:	15
4.1. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS	17
4.1.1. Estacionamientos verticales	17
4.1.2. Tipos de estacionamientos:	18
4.1.3. Sistema mecánico del estacionamiento vertical automatizado	20
4.1.4. Sistema de potencia	22
4.1.5. Software de diseño CAD	24
4.1.6. Sistema de automatización	24
4.1.7. Ecuaciones empleadas	26
V. MARCO METODOLÓGICO	29
5.1. DIAGRAMA DE FLUJO	29
5.2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	30
5.3. MATRIZ DE OPERACIONALIDAD Y MATRIZ DE CONSISTENCIA	31
5.4. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	33
5.5. MÉTODOS Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	33
VI. RESULTADOS:	34
6.1. Diagnóstico de la situación actual de la zona de parqueo en una universidad del norte del país:	34
6.2. Diseño conceptual del estacionamiento:	38
6.2.1. Matriz morfológica	39
6.2.2. Matriz ponderada	41
6.2.3. Selección de material	41
6.3. Diseño electromecánico del estacionamiento vertical	42
6.3.1. Cálculos de la potencia requerida del motor	43
6.3.2. Cálculo para seleccionar la cadena de transmisión	47

6.3.3. Cálculo para obtener la longitud de la cadena	48
6.3.4. Comprobación de la velocidad lineal de la cadena	49
6.3.5. Comprobación del esfuerzo total soportado de la cadena.....	49
6.3.6. Comprobación mediante el coeficiente de seguridad de la cadena.....	49
6.3.7. Cálculo de engranajes requeridos	50
6.3.8. Cálculo de cargas internas de la estructura principal mediante el software SAP2000	55
6.3.9. Sistemas de protección.....	55
6.3.10. Automatización en el Software TIA PORTAL V15	56
6.4. Análisis estático estructural del estacionamiento vertical	61
6.4.1. Análisis estático de la estructura principal del estacionamiento vertical.....	61
6.4.2. Análisis estático de la plataforma de vehículos del estacionamiento vertical	63
6.5. Evaluación mediante estructura de costos	66
VII. DISCUSIONES:.....	68
VIII. CONCLUSIONES	69
IX. RECOMENDACIONES	70
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	70
XI. ANEXOS:.....	74
Anexo 1: Cantidad de vehículos de la zona norte	74
Anexo 2: Incremento de vehículos respecto al año anterior.....	74
Anexo 3: Área de estacionamiento de la universidad.....	75
Anexo 4: Porcentaje de cantidad de estacionamientos en la universidad.....	76
Anexo 5: Propiedades de los materiales	77
Anexo 6: Propiedades del material de referencia	77
Anexo 7: Criterios para la selección de material	77
Anexo 8: Plano de la estructura principal.....	78
Anexo 9: Plano de la base de la cesta	79
Anexo 10: Plano del brazo de la cesta	80
Anexo 11: Plano de la barra de la cesta.....	81
Anexo 12: Plano del ensamblaje de la cesta.....	82
Anexo 13: Plano del eslabón exterior de la cesta	83
Anexo 14: Plano del eslabón exterior de la cadena de transmisión.....	84
Anexo 15: Plano del eslabón interior de la cadena de transmisión	85
Anexo 16: Plano del eslabón interior de la cesta.....	86
Anexo 17: Plano del eslabón de sujeción de la cesta	87
Anexo 18: Plano de engranaje 1 de 12 dientes	88

Anexo 19: Plano de engranaje 2 de 83 dientes	89
Anexo 20: Plano de engranaje 3 de 16 dientes	90
Anexo 21: Plano de engranaje 4 de 48 dientes	91
Anexo 22: Plano de la barra de transmisión	92
Anexo 23: Plano de ensamble de la transmisión	93
Anexo 23: Plano de ensamble de la correa para las cestas	94
Anexo 24: Plano de ensamble final del estacionamiento vertical	95
Anexo 25: Gráfica de coeficiente K1, Coeficiente del número de dientes.....	96
Anexo 26: Gráfica de coeficiente K2, Coeficiente de multiplicidad por cadenas.....	96
Anexo 27: Gráfica de coeficiente K3	96
Anexo 28: Gráfica de coeficiente K4, Factor de servicio.....	97
Anexo 29: Gráfica de coeficiente K5, Coeficiente de duración	97
con respecto a la vida útil	97
Anexo 30: Gráfica para selección de cadena Norma ISO 606 (Serie Europea)	98
Anexo 31: Tabla de velocidades máximas en cadenas.....	99
Anexo 32: Tabla de características para cadena simple	99
Anexo 33: Tabla de características para conductores.....	100

Lista de tablas

Tabla 1: Formulación de hipótesis	30
Tabla 2: Matriz de operacionalidad.....	31
Tabla 3: Matriz de consistencia.....	32
Tabla 4: Crecimiento por tipo de vehículo con respecto al año anterior.....	35
Tabla 5: Matriz morfológica extendida	40
Tabla 6: Matriz morfológica	40
Tabla 7: Matriz ponderada	41
Tabla 8: Lista de vehículos más recurrentes en la universidad y sus dimensiones.....	42
Tabla 9: Costos de diseño mecánico	66
Tabla 10: Costos de componentes del sistema de control	66
Tabla 11: Costos de componentes del sistema transmisión	66
Tabla 12: Costos de la programación del sistema de control.....	67
Tabla 13: Costos de las piezas y materiales para el diseño mecánico.....	67
Tabla 14: Costos de la fabricación y ensamblaje de piezas del diseño mecánico.....	68
Tabla 15: Estructura de costos del estacionamiento vertical.....	68

Lista de figuras

Figura 1: Primer estacionamiento vertical en Estados Unidos.....	17
Figura 2: Estacionamiento inteligente horizontal con sistema de ciclo continuo	18
Figura 3: Estacionamiento con sistema rotativo	19
Figura 4: Estacionamiento con sistema DSA	19
Figura 5: Estacionamiento Paletizado doble y simple	20
Figura 6: Ejemplo de una armadura	21
Figura 7: Cargas en los elementos de las armaduras.....	21
Figura 8: Perfiles de acero estructurales	21
Figura 9: Eje de diámetro uniforme	22
Figura 11: Engranajes rectos	22
Figura 12: Motorreductor	23
Figura 13: Cadena de transmisión.....	23
Figura 14: Pieza simulada en SolidWorks	24
Figura 15: Logo de TIA PORTAL V15	24
Figura 16: Sensores fotoeléctricos autoreflex	25
Figura 17: Pantalla HMI.....	25
Figura 18: PLC	26
Figura 19: Diagrama de flujo	29
Figura 20: Gráfica de la cantidad de vehículos por año de la zona norte	34
Figura 21: Gráfica de porcentaje de espacios llenos del día Lunes	35
Figura 22: Gráfica de porcentaje de espacios llenos del día Martes	36
Figura 23: Gráfica de porcentaje de espacios llenos del día Miércoles	36
Figura 24: Gráfica de porcentaje de espacios llenos del día Jueves.....	37
Figura 25: Gráfica de porcentaje de espacios llenos del día Viernes.....	37
Figura 26: Gráfica de porcentaje de espacios llenos del día Sábado	38
Figura 27: Gráfica de estudio de grupo de propiedades.....	41
Figura 28: DCL de la vista lateral Toyota Hilux.....	43
Figura 29: DCL de la vista frontal Toyota Hilux	43
Figura 30: Medidas en mm de la cadena y engranajes.....	44
Figura 31: Masa en gramos de la cesta	45
Figura 32: Motor Berklin seleccionado.....	46
Figura 33: Cadena y sistema de transmisión	48

Figura 34: Datos para el cálculo de engranajes	50
Figura 35: Cargas internas en el software SAP2000	55
Figura 36: Segmento 1 de la automatización	56
Figura 37: Segmento 2 de la automatización	56
Figura 38: Segmento 3 de la automatización	57
Figura 39: Segmento 4 de la automatización	58
Figura 40: Pantalla HMI.....	59
Figura 41: Tabla de variables	59
Figura 42: Conexión de la automatización.....	60
Figura 43: Ubicación de los sensores	60
Figura 44: Estructura mallada en SolidWorks	61
Figura 45: Tensiones von Mises en MPa de la estructura principal.....	62
Figura 46: Deformaciones unitarias de la estructura principal	62
Figura 47: Factor de seguridad de la estructura principal	63
Figura 48: Plataforma de vehículos mallada en SolidWorks	64
Figura 49: Tensiones von Mises en MPa de la plataforma de vehículos	64
Figura 50: Deformaciones unitarias de la plataforma de vehículos	65
Figura 51: Factor de seguridad de la plataforma de vehículos.....	65

Resumen

Hoy en día la creciente cantidad de vehículos y la falta de estacionamiento es un problema común en muchas universidades del país. A medida que la población crece y más personas se trasladan en coche, se hace cada vez más difícil encontrar lugares de estacionamiento disponibles, lo que puede generar congestión, estrés y costos adicionales.

El problema de la falta de estacionamientos es muy complejo ya que involucra a múltiples factores. Por un lado, los conductores necesitan un lugar para estacionar sus vehículos. Por otro lado, las autoridades locales deben centrarse en la necesidad de aumentar estacionamientos.

Es por ello que en la presente investigación se implementó a través del software SolidWorks un diseño de un estacionamiento vertical utilizando PLC y su programación en el software TIA Portal V15 con el objetivo de incrementar el área de parqueo.

En esta investigación se diagnosticó mediante la observación la situación actual de la zona de parqueo en una universidad de la región Lambayeque. Además, se diseñó conceptualmente un estacionamiento vertical para conocer los parámetros de los componentes, se procedió a diseñar electromecánicamente el estacionamiento vertical con el fin de dimensionar los sistemas estructurales y seleccionar los componentes eléctricos, así como también automatizarlo en el software TIA PORTAL V15. También se analizó su estructura principal mediante el software SolidWorks para conocer el comportamiento estático del sistema y finalmente se evaluó mediante una estructura de costos. Como resultado final se diseñó el estacionamiento vertical automatizado que permita incrementar la zona de parqueo en una universidad de la región Lambayeque.

Palabras claves: Estacionamiento vertical, PLC, incrementar, área de parqueo, congestión vehicular.

ABSTRACT

Today, the growing number of vehicles and lack of parking is a common problem at many universities across the country. As the population grows and more people commute by car, it becomes increasingly difficult to find available parking spaces, which can lead to congestion, stress and additional costs.

The problem of parking shortages is very complex as it involves multiple factors. On the one hand, drivers need a place to park their vehicles. On the other hand, local authorities must focus on the need to increase parking.

That is why in the present research a vertical parking lot design using PLC and its programming in TIA Portal V15 software was implemented through SolidWorks software with the objective of increasing the parking area.

In this research, the current situation of the parking area at a university in the Lambayeque region was diagnosed through observation. In addition, a vertical parking lot was conceptually designed to know the parameters of the components. Once the parameters were obtained, the vertical parking lot was electromechanically designed in order to dimension the structural systems and select the electrical components, as well as to automate it in the TIA PORTAL V15 software. The main structure was also analyzed using SolidWorks software to know the static behavior of the system and finally it was evaluated by means of a cost structure. As a final result, an automated vertical parking lot was designed to increase the parking area at a university in the Lambayeque region.

Keywords: vertical parking, PLC, increase, parking area, vehicle congestion.

I. INTRODUCCIÓN:

Actualmente el mundo está teniendo una gran necesidad de transporte masivo lo cual no abastece a la gran mayoría, con nuevas tecnologías que cubren esta medida. En algunas regiones del mundo la tendencia es utilizar vehículos particulares que permitan mayor desplazamiento y seguridad; es por ello, que no deja de crecer el parque automotor buscando vehículos más eficientes y de menor costo; pero, se está presentando una gran necesidad de espacios donde estacionarlos.

Los problemas de estacionamiento se están transformando en el malestar de la población. Todos desean conducir un vehículo. Porque aporta velocidad a la vida y comodidad de traslado, sin embargo, se presenta un gran desafío en las infraestructuras de las metrópolis: falta de espacios para estacionar. [1]

Todos los vehículos requieren de un lugar donde ubicarse al llegar a su destino, por lo que unas instalaciones de estacionamiento deben ser un componente integrado de cualquier infraestructura.[3]

El estacionamiento vertical demanda una superficie mínima para su instalación y permite estacionar de 8 a 20 automóviles en un espacio donde normalmente solo cabrían dos o tres vehículos en un estacionamiento tradicional. [2]

Según la Asociación Automotriz del Perú en el año 2018 se vendieron 167 098 vehículos, posteriormente en el año (2019) se registró un incremento en la venta de un 1,7% vendiéndose un total de 168 647; debido a la pandemia covid-19 que perjudicó a numerosas compañías y estas no fueron la excepción, en el año 2020 disminuyó la venta en un 25,8% vendiendo 125 090 vehículos, para el año 2021 fue incrementando nuevamente desde su caída en un 39,7% registrando una venta total de 174 751 vehículos, para el año 2022 siguió en aumento vendiéndose una cifra de 177 543 automóviles incrementando un 1,6% del año anterior. [4]

Estas estadísticas demuestran que cada año la venta de vehículos se sigue incrementando, por lo que cada vez hay menos espacios para que las personas puedan estacionar su vehículo y acuden a estacionarse en sitios no permitidos ocasionando congestión vehicular, para solucionar el problema de la congestión vehicular por la escasez de estacionamientos se plantea en la siguiente investigación implementar a través del software SolidWorks un diseño de un estacionamiento vertical automatizado que haciendo uso del PLC y sensores instalados en el pallet del estacionamiento nos facilitarán el acceso al estacionamiento con el propósito final de incrementar el área de parqueo vehicular.

De esta manera nace la pregunta de investigación:

¿En qué medida un estacionamiento vertical automatizado permitirá incrementar el área de parqueo en una universidad de la región Lambayeque?

II. JUSTIFICACIÓN:

2.1 Tecnológica

El diseño de un estacionamiento vertical automatizado permite integrar una gran variedad de tecnologías de sistemas de control y software creando una solución efectiva para los estacionamientos en entornos densos.

2.2 Económica

Un estacionamiento vertical suele requerir una inversión inicial menor en comparación con la construcción de estacionamientos subterráneos o estructuras de estacionamiento tradicionales, esto se debe a que requiere de menos área y por lo tanto los costos asociados con la adquisición y el mantenimiento de terrenos es más bajo.

2.3 Ambiental

El estacionamiento vertical automatizado al requerir menos espacio y recursos para la construcción tienen una huella de carbono reducida en comparación con los estacionamientos convencionales, debido a que se utilizan menos materiales de construcción y menos emisiones de transporte durante la construcción ayudando así a la mitigación del cambio climático.

2.4 Social

El estacionamiento vertical automatizado al proporcionar una solución efectiva de estacionamiento, pueden reducir la congestión vehicular por falta de estacionamiento lo que beneficia a la comunidad universitaria para que puedan lograr estacionar su vehículo.

III. OBJETIVOS:

3.1 Objetivo general

-Diseñar un estacionamiento vertical automatizado que permita incrementar la zona de parqueo en una universidad de la región Lambayeque.

3.2 Objetivos específicos

-Diagnosticar la situación actual de la zona de parqueo en una universidad de la región Lambayeque.

-Diseñar conceptualmente el estacionamiento vertical.

-Diseñar electromecánicamente el estacionamiento vertical.

-Analizar el estacionamiento vertical automatizado aplicando software de simulación.

-Evaluar mediante una estructura de costos el estacionamiento vertical automatizado.

IV. MARCO TEÓRICO:

Para Estupiñán y Puentes en el año 2020 en su investigación descriptiva aplicada, tuvieron como objetivo diseñar un parqueo vertical tipo carrusel para la optimización de espacios destinados al estacionamiento de vehículos de la Fundación Universidad de América. Dicho proyecto se realizó mediante normas del distrito y estructuras, así como también, parámetros para el diseño y posibilidades de solución con el fin de hallar una alternativa más óptima. Se obtuvieron resultados como la velocidad máxima en la que giraría el estacionamiento vertical arrojando un valor de 0,27 m/s, siendo esta una velocidad óptima para evitar el movimiento de los vehículos en las bandejas, la potencia del motor obteniendo un valor de 178,35 hp. También se analizaron las fuerzas que soportaría la viga principal obteniendo un esfuerzo máximo de 73,85 MPa, esto nos indica que la viga principal puede soportar alrededor de 7 530 604,233 Kg/m². Llegando a la conclusión que el nuevo sistema optimiza en un 20% la capacidad de estacionamiento en la Fundación Universidad de América, debido a que permite almacenar 16 vehículos haciendo uso de un área similar para aparcar 2 vehículos. [17]

En la investigación realizada por Avendaño V, Ricardo, 2019, en la Universidad de Córdoba, Argentina, titulada “Estacionamiento vertical rotatorio” sostuvo el diseño de un sistema de estacionamiento vertical de tipo rotatorio que nos permita aprovechar el espacio en altura y minimice el espacio horizontal

ocupado con el fin de solucionar el problema de la falta de estacionamientos en la ciudad de Córdoba. Para el tratamiento de la investigación se llevaron a cabo cálculos para hallar la potencia requerida del motor obteniendo un resultado de 12,3 hp y un análisis de la viga principal de la estructura y de la pieza que desempeña la función de resistir el peso de la bandeja con el automóvil obteniendo para la viga un límite de elástico de 183 Mpa y una deformación de 2,979 mm y para la pieza una tensión máxima de 93,75 Mpa y una deformación de 1,58 mm cumpliendo así con las condiciones de diseño. Se concluyó que la máquina es una buena opción debido a que sería capaz de albergar a 12 vehículos limitada por volumen la capacidad de vehículos a almacenar, esto con el fin de que la estructura sea capaz de resistir cargas mayores, así como también, deformaciones mínimas en la bandeja de la estructura. [18]

Según Bernabé M, Percy, 2018, de la Universidad César Vallejo de Chimbote, Perú, tuvo como propósito principal diseñar un estacionamiento vertical con el fin de incrementar la capacidad de estacionamiento en la ciudad debido al aumento significativo en esa zona. Para el desarrollo de la investigación se recopilaron datos de varios vehículos, incluyendo sus dimensiones y pesos obteniendo medidas promedio de ancho (2 010 mm), alto (1 815 mm), largo (5330 mm) y una masa promedio de 1 860 Kg. También se conoció la potencia del motor que hace girar el estacionamiento vertical obteniendo un valor de 69,68 hp, seguido a ello, se realizó un análisis estático estructural en SolidWorks de la sujeción de la cesta utilizando el material de Acero A500 obteniendo un límite elástico de $2,500e+008$ y un factor de seguridad de 3,6. Con respecto a la viga principal del estacionamiento se obtuvo un resultado de un límite elástico igual que la sujeción de la cesta y un factor de seguridad de 6,2.

Se llegó a la conclusión de que el estacionamiento sería una buena opción para dicha ciudad, debido a que aumenta en 5 veces más por espacio de estacionamiento. [19]

Para Calle y Vargas, 2021, en su investigación descriptiva aplicada la finalidad fue el diseño de un estacionamiento vertical utilizando la energía solar como fuente de alimentación que tenga una capacidad para 10 vehículos SUV. Se empleó en la investigación un diseño conceptual, cálculos de la potencia del motor, diseño de la mecánica estructural y paneles fotovoltaicos, así como también, se elaboró un análisis de costos del sistema de estacionamiento vertical.

Mediante el software SolidWorks se realizó un análisis estático estructural de la plataforma donde se ubicarán los vehículos obteniéndose una deformación máxima de 0,69205 mm y un esfuerzo máximo de 60,894 Mpa. También se obtuvieron datos como la potencia requerida del motor (22 hp) y la cantidad de paneles a usar (20 paneles solares Policristalinos g430) para la generación de energía suficiente y así accionar el sistema de fuerza y control del estacionamiento vertical. Debido a la capacidad propuesta de 10 vehículos SUV se calculó que el área que ocuparía dicho estacionamiento es de 64,88 m², lo que nos demuestra en conclusión que el proyecto es un 48,10% más eficiente en el uso de espacio del estacionamiento actual. [20]

4.1.BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS:

4.1.1. Estacionamientos verticales:

En los años 1920, Estados Unidos fue pionero en el desarrollo del primer estacionamiento automatizado. No obstante, fue en 1970, en Japón, específicamente en Tokio, una ciudad con limitaciones significativas de espacio, donde surgieron los estacionamientos robóticos de manera destacada. [7]



Figura 1: Primer estacionamiento vertical en Estados Unidos.

Fuente: UPCommons

Los sistemas de estacionamiento giratorio operan de manera similar a una Rueda de la Fortuna: Los vehículos se estacionan en compartimentos colgantes que están conectados a una correa, permitiendo que un automóvil sea estacionado a la vez. La secuencia completa de automóviles gira hasta

que la siguiente caja cae. Estos sistemas son impulsados por motores eléctricos. [8]

4.1.2. Tipos de estacionamientos:

4.1.2.1. Estacionamiento inteligente con sistema de ciclo continuo: Se compone de una banda transportadora y dos elevadores en cada extremo del sistema. La banda se desplaza horizontalmente, haciendo girar los vehículos. Cada vehículo se ubica en una plataforma, y todas las plataformas juntas conforman la banda transportadora. Cuando una plataforma llega al extremo derecho, se eleva y luego continúa moviéndose horizontalmente. De esta manera, al llegar al otro extremo, la plataforma desciende y sigue su movimiento horizontal. El acceso y la salida del sistema se realizan a través de uno de los extremos. [10]

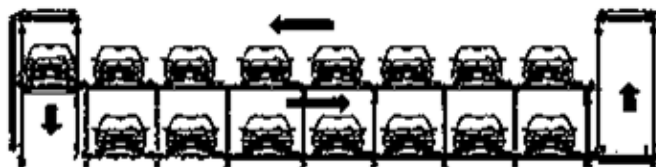


Figura 2: Estacionamiento inteligente horizontal con sistema de ciclo continuo

Fuente: 1Library

4.1.2.2. Estacionamiento inteligente con Sistema rotativo: El concepto de estacionamiento vertical rotativo se basa en el uso de bandejas suspendidas que realizan movimientos giratorios utilizando un sistema de guías y una cadena de transmisión. A través del giro, se modifica la posición de la bandeja que está al nivel del suelo, lo que permite estacionar o retirar un vehículo. La bandeja ubicada en la posición inferior siempre está libre, lo que facilita el acceso rápido al sistema. Este tipo de estacionamientos es especialmente para espacios limitados, ya que requiere una superficie reducida. [10]

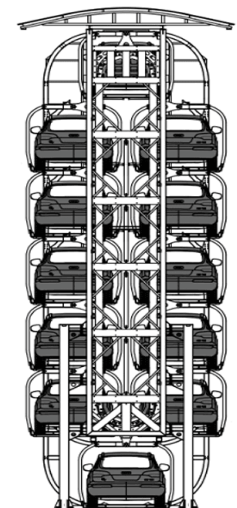


Figura 3: Estacionamiento con sistema rotativo

Fuente: Traxpark

4.1.2.3. Estacionamiento inteligente con Sistema DSA: Este sistema inteligente evita la necesidad de desplazar la plataforma inferior para recoger un vehículo situado en la plataforma superior o para estacionar un vehículo en dicha plataforma. El funcionamiento se basa en una columna giratoria que se desplaza hacia adelante siguiendo una trayectoria predefinida y gira 90 grados junto con la plataforma de estacionamiento superior. Luego, la plataforma desciende al nivel del suelo y está lista para recibir el vehículo que se colocará en la posición de estacionamiento superior. El usuario del automóvil debe posicionar el automóvil sobre la plataforma y luego retirarse. A continuación, la columna gira en un ángulo recto y retrocede a lo largo de su trayectoria hasta que el vehículo queda estacionado. [10]



Figura 4: Estacionamiento con sistema DSA

Fuente: 1Library

4.1.2.4. Estacionamiento inteligente con sistema paletizado PCS: Se trata de un sistema automatizado de estacionamiento en forma de torre robótica. El

funcionamiento del sistema es el siguiente: el conductor introduce su vehículo en una plataforma y lo deja allí. Esta plataforma tiene la capacidad de girar para colocar el automóvil en cualquier posición y moverlo verticalmente para ubicarlo en un nivel de la torre con espacio disponible. Finalmente, el automóvil se desplaza horizontalmente hacia su ubicación designada. [10]



Figura 5: Estacionamiento Paletizado doble y simple

Fuente: Universidad Católica del Perú

4.1.3. Sistema mecánico del estacionamiento vertical automatizado:

Estos pueden estar representados por todos los elementos y componentes que realizarán un trabajo eficiente para soportar las cargas externas como son los vehículos de nuestro estacionamiento vertical automatizado, consideramos:

-Estructura: Una estructura hace referencia a un sistema de partes interconectadas que se emplea para soportar una carga. Entre los ejemplos más significativos vinculados a la ingeniería mecánica se encuentran las estructuras de barcos, aviones, tanques, recipientes a presión y también los de soporte para líneas eléctricas. Compuesta por algunos elementos estructurales como los tensores, vigas y columnas. [11]

Las armaduras consisten en elementos delgados, generalmente dispuestos en forma triangular. Las armaduras planas consisten en elementos dispuestos en un solo plano y se emplean para sostener puentes y techos. Por otro lado, las armaduras espaciales incluyen elementos que se extienden en tres dimensiones, siendo adecuadas para estructuras como grúas y torres. Debido a la disposición geométrica de sus elementos, las cargas que

provocan la deformación de toda la armadura generan fuerzas de tensión o compresión en los elementos. [11]

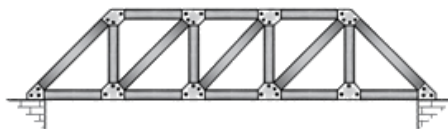


Figura 6: Ejemplo de una armadura
Fuente: Toolengy

Debido a los elementos enlazados mediante nodos, las fuerzas que actúan en los extremos de cada elemento reducen a una sola fuerza, sin generar un par. Por esta razón, se les llama elementos a dos fuerzas. Cuando estas fuerzas tienden a estirar el elemento, este se encuentra en estado de tensión, mientras que, si las fuerzas tienden a comprimirlo, se encuentra en estado de compresión. Es importante destacar que no importa dónde se analice el elemento, es decir, en qué punto se realiza el corte, el elemento estará sometido a tensiones o compresiones. [11]

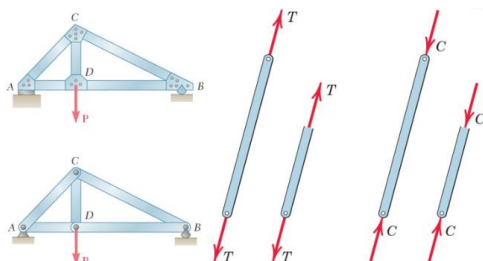


Figura 7: Cargas en los elementos de las armaduras
Fuente: Clases de mecánica

-Perfiles estructurales: En términos generales, los elementos estructurales más eficientes suelen ser aquellos con momentos de inercia considerables en relación con sus áreas. Los perfiles I, T y C, ampliamente utilizados, se encuentran dentro de esta categoría. [11]

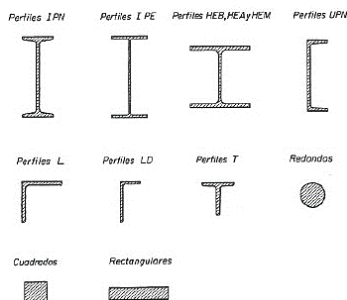


Figura 8: Perfiles de acero estructurales
Fuente: Libro "Ingeniería Civil"

-Eje: Un eje se define como un componente no giratorio que no transfiere torque y se emplea para sostener ruedas en movimiento, poleas y componentes similares. Un eje no giratorio puede ser diseñado con facilidad y análisis como una viga estática. [21]

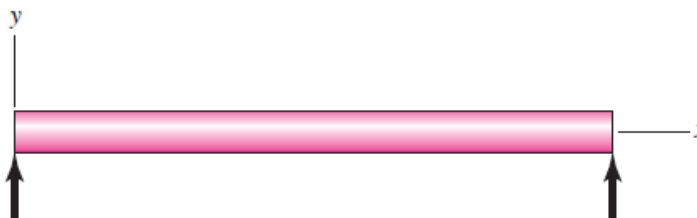


Figura 9: Eje de diámetro uniforme

Fuente: Libro "Diseño de Ingeniería mecánica de Shigley"

-Engranajes rectos: Los engranes rectos, representados en la figura, tienen dientes que son paralelos al eje de rotación y se utilizan para transmitir movimiento de un eje a otro eje también paralelo. Entre todos los tipos de engranes, el recto es el más básico. [21]

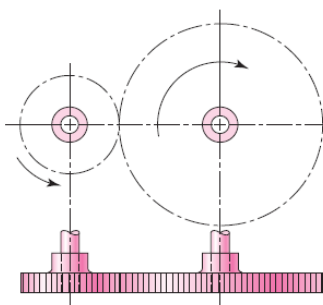


Figura 11: Engranajes rectos

Fuente: Libro "Diseño de Ingeniería mecánica de Shigley"

4.1.4. Sistema de potencia:

4.1.4.1. Motores eléctricos: Realizan la conversión de energía eléctrica en energía mecánica y se utilizan para impulsar una variedad de dispositivos. [12]

El funcionamiento del motor eléctrico se basa en principios del electromagnetismo, donde la presencia de una corriente eléctrica en un campo magnético genera una fuerza que induce el movimiento del motor. [14]

- **Motores trifásicos:** Convierte energía eléctrica en mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de estos tienen la capacidad de funcionar en reversa, convirtiendo energía mecánica en eléctrica cuando operan como generadores. Dichos motores operan a partir de una fuente de

alimentación trifásica y son impulsados por tres corrientes alternas de la misma frecuencia, logrando alcanzar sus valores máximos en momentos alternos. Tienen una capacidad de potencia que puede llegar hasta 300 kW y velocidades que rondan entre 900 y 3600 RPM. Para la transmisión de energía, se utilizan líneas con tres conductores, pero para su uso final se emplean líneas con cuatro hilos, que comprenden las tres fases y el neutro. [16]

- **Motorreductor:** El reductor es el componente principal de un motorreductor, y sus etapas, denominadas pares, permiten transferir la fuerza del motor del eje de entrada al eje de salida, actuando, así como un variador de velocidad y par. Generalmente, el reductor reduce la velocidad de giro mientras aumenta el par transmitido, superando la capacidad del motor eléctrico por sí solo. Por lo tanto, el diseño del reductor establece si un motorreductor es apropiado para manejar cargas ligeras, medias o pesadas, y si es adecuado para operaciones de corta o larga duración. [22]



Figura 12: Motorreductor

Fuente: SEW-EURODRIVE

- **Cadena de transmisión:** Las cadenas de transmisión son fundamentales para el correcto funcionamiento de diversos componentes y maquinaria industrial. Desempeñan un papel vital en la mayoría de los procesos de fabricación, siendo responsables de trasladar el movimiento y la fuerza de un punto a otro en la máquina. [25]



Figura 13: Cadena de transmisión

Fuente: Epidor-Technical Distribution

4.1.5. Software de diseño CAD:

-SolidWorks: El programa de diseño mecánico SOLIDWORKS, que utiliza tecnología CAD, es una herramienta de automatización que posibilita a los diseñadores esbozar conceptos de manera ágil, realizar pruebas con operaciones y dimensiones, y confeccionar modelos y dibujos minuciosos. [18].

-SolidWorks Simulation: SOLIDWORKS Simulation es un conjunto de recursos para el análisis estructural que se caracterizan por su sencillez de uso y emplean la técnica de análisis de elementos finitos (FEA) para anticipar el comportamiento físico real de un producto a través de la simulación virtual de modelos CAD.

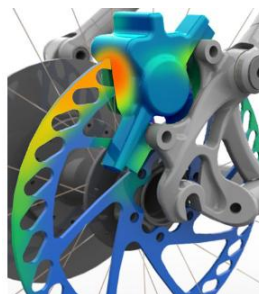


Figura 14: Pieza simulada en SolidWorks

Fuente: SolidWorks

4.1.6. Sistema de automatización:

-TIA PORTAL V15: Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) es un software de ingeniería diseñado para ejecutar soluciones de automatización en diversas industrias a nivel mundial. Facilita el trabajo de ingenieros y técnicos al abarcar desde el diseño hasta la puesta en marcha, ahorrando tiempo y esfuerzo. Con esta herramienta, es posible configurar, programar, simular y diagnosticar todos los controladores modulares. Permite también programar los PLCs, así como variadores de velocidad, HMI y otros módulos adicionales. [23]



Figura 15: Logo de TIA PORTAL V15

Fuente: Siemens

-Sensores fotoeléctricos autoreflexivos: La detección fotoeléctrica emplea un haz de luz para identificar la presencia o ausencia de un objeto, siendo una excelente alternativa a los sensores de proximidad inductivos cuando se requieren mayores distancias de detección o cuando el objeto no es metálico. [24]



Figura 16: Sensores fotoeléctricos autoreflex

Fuente: Siemens

-Pantalla HMI: Significa interfaz hombre-máquina, hace referencia a un panel que permite la comunicación entre un usuario y una máquina, software o sistema. Aunque en teoría puede aplicarse a cualquier pantalla utilizada para interactuar con un equipo, generalmente se refiere a aquellas en entornos industriales. También pueden mostrar datos en tiempo real permitiendo al usuario controlar las máquinas mediante una interfaz gráfica. [15]

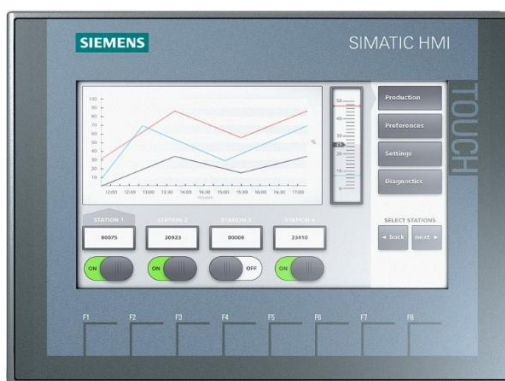


Figura 17: Pantalla HMI

Fuente: Siemens

-PLC: El PLC, o Controlador Lógico Programable, es una computadora industrial diseñada para automatizar procesos, mejorando la eficiencia operativa de la maquinaria en entornos fabriles. Estos dispositivos

monitorean los procesos industriales mediante diagnósticos y análisis para garantizar la correcta ejecución de las tareas. Funcionando como controles electrónicos programables, los PLC gestionan la operación de componentes específicos de la maquinaria, siendo especialmente útiles en tareas complejas o riesgosas para el personal humano. [13]



Figura 18: PLC

Fuente: Siemens

4.1.7. Ecuaciones empleadas:

En este apartado se mencionarán todas las fórmulas empleadas para el desarrollo de la investigación

-Ecuación de sumatoria de fuerzas

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (1)$$

-Ecuación de cargas vivas en un eje

$$C_v = \frac{\text{Carga viva}}{\text{N}^\circ \text{ de ejes}} \dots \dots \dots (2)$$

-Ecuación de la longitud de la cadena para las cestas

$$L_{\text{cadena}} = D_c(2) + 2(\pi)(R) \dots \dots \dots (3)$$

-Ecuación del tiempo

$$t = \frac{d}{v} \dots \dots \dots (4)$$

-Ecuación de la velocidad angular

$$W = \frac{v}{R} \dots \dots \dots (5)$$

-Ecuación del torque

$$T = P_{\text{total}_{\text{medio}}} * \text{radio de la cadena} \dots \dots \dots (6)$$

-Ecuación de la potencia del motor

$$P = T * W \dots \dots \dots (7)$$

-Ecuación de la potencia requerida del motor

$$P_{requerida_{motor}} = \frac{P_{util\ del\ motor}}{Eficiencia^3} \dots\dots\dots(8)$$

-Ecuación de la potencia corregida del motor

$$P_c = K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * P_{motor} \dots\dots\dots(9)$$

-Ecuación de longitud de la cadena de transmisión

$$L = 2 * D_c + \frac{P}{2} * (N^\circ E1 + N^\circ E2) + \frac{P^2 * (N^\circ E2 - N^\circ E1)^2}{4 * \pi^2 * D_c} \dots\dots\dots(10)$$

-Ecuación para los pasos de la cadena de transmisión

$$N^\circ\ de\ pasos = \frac{Longitud\ de\ la\ cadena}{paso\ de\ la\ cadena} \dots\dots\dots(11)$$

-Ecuación de la velocidad lineal

$$V_{lineal} = \frac{Paso * N^\circ E1 * V_{giro}}{60} \dots\dots\dots(12)$$

-Ecuación del esfuerzo útil de la cadena de transmisión

$$F_u = \frac{Potencia_{requerida_{motor}}(W)}{Velocidad_{lineal}(\frac{m}{s})} + m_{cadena}(\frac{kg}{m}) * \left(Velocidad_{lineal}(\frac{m}{s}) \right)^2 \dots\dots\dots(13)$$

-Ecuación del coeficiente de seguridad

$$C_s = \frac{R}{F_u} \dots\dots\dots(14)$$

-Ecuación del diámetro primitivo

$$D_p = m * N^\circ\ de\ dientes \dots\dots\dots(15)$$

-Ecuación de la altura superior de la cresta del engranaje

$$h_c = 1 * m \dots\dots\dots(16)$$

-Ecuación de la altura inferior de la cresta del engranaje

$$h_p = 1,25 * m \dots\dots\dots(17)$$

-Ecuación de la altura total de la cresta del engranaje

$$h = h_c + h_p \dots\dots\dots(18)$$

-Diámetro exterior del engranaje

$$D_e = D_p + 2 * h_c \dots \dots \dots (19)$$

-Diámetro interior del engranaje

$$D_i = D_p - 2 * h_p \dots \dots \dots (20)$$

-Espesor de la cresta del engranaje

$$e = 0,5 * \pi * m \dots \dots \dots (21)$$

V. MARCO METODOLÓGICO:

5.1. DIAGRAMA DE FLUJO:

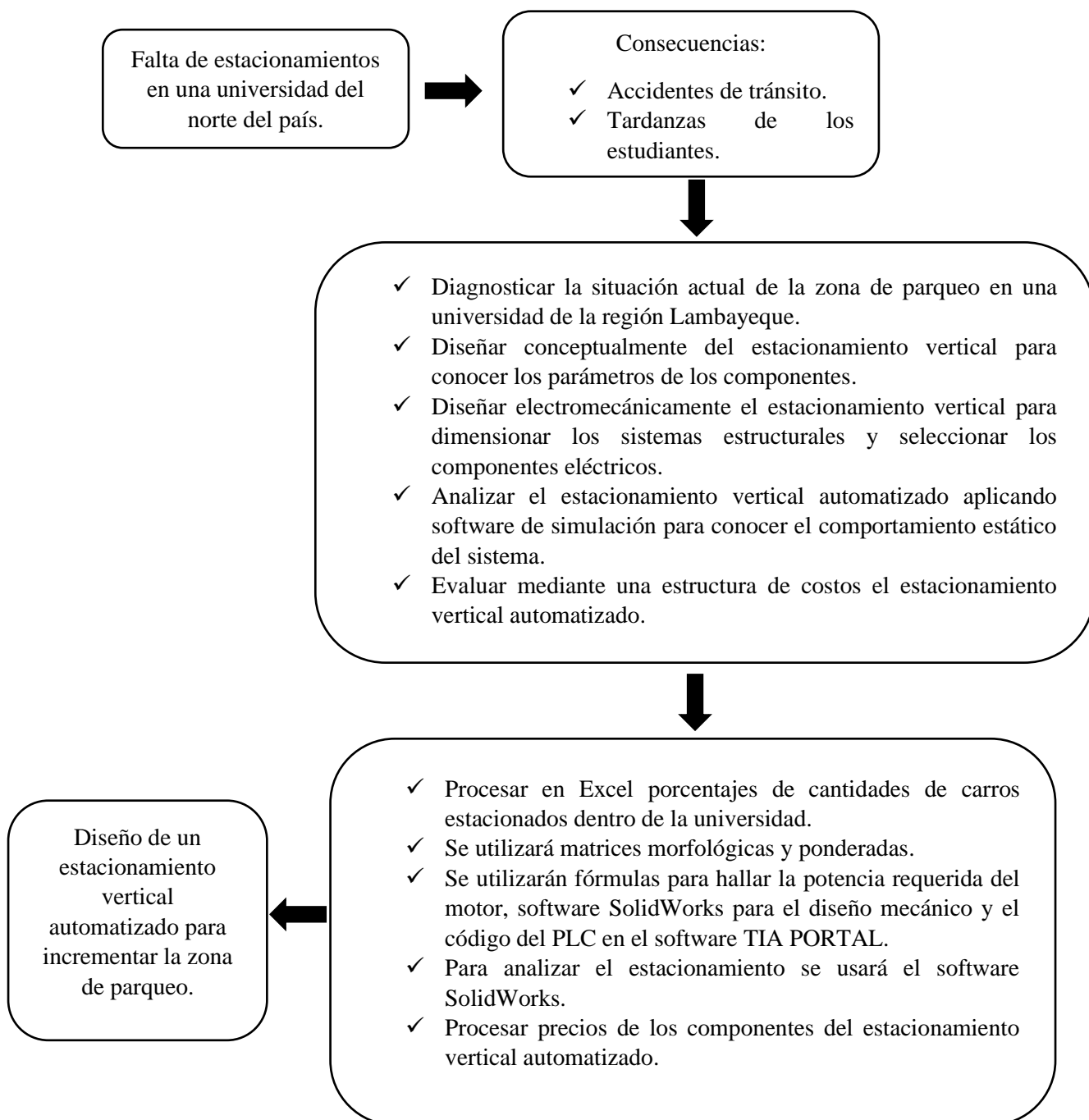


Figura 19: Diagrama de flujo

Fuente: Siemens

5.2.FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS:

OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
Diseñar un estacionamiento vertical automatizado que permita incrementar la zona de parqueo en una universidad de la región Lambayeque.	Si se realiza el diseño de un estacionamiento vertical automatizado, entonces, se incrementará la zona de parqueo en una universidad de la región Lambayeque.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS
<p>1) Diagnosticar la situación actual de la zona de parqueo en una universidad de la región Lambayeque.</p> <p>2) Diseñar conceptualmente el estacionamiento vertical.</p> <p>3) Diseñar electromecánicamente el estacionamiento vertical.</p> <p>4) Analizar el estacionamiento vertical automatizado aplicando software de simulación.</p> <p>5) Evaluar mediante una estructura de costos el estacionamiento vertical automatizado.</p>	<p>1) Si se diagnostica la situación actual de la zona de parqueo de una universidad de la región Lambayeque, entonces, se definirá la demanda de estacionamiento.</p> <p>2) Si se diseña conceptualmente el estacionamiento vertical entonces se conocerán los parámetros de los componentes.</p> <p>3) Si se diseña electromecánicamente el estacionamiento vertical entonces se obtendrá el diseño estructural del estacionamiento y los componentes eléctricos.</p> <p>4) Si se realiza el análisis del estacionamiento vertical automatizado, entonces, se conocerá el comportamiento estático del sistema.</p> <p>5) Si se evalúan los costos de los componentes del estacionamiento vertical automatizado, entonces, se conocerá el costo total del proyecto.</p>

Tabla 1: Formulación de hipótesis

Fuente: Elaboración propia

5.3.MATRIZ DE OPERACIONALIDAD Y MATRIZ DE CONSISTENCIA:

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
Diseño de un estacionamiento vertical automatizado	El diseño de un estacionamiento vertical implicará el dimensionamiento de un sistema rotativo que sigue un mecanismo similar utilizado en la famosa rueda de Chicago. Contará con una plataforma inferior en la cual se coloca el vehículo que es elevado para permitir la entrada a otros vehículos. [5]	Para el desarrollo del diseño de un estacionamiento vertical primero se medirá el peso de los vehículos, posteriormente se dimensionará la potencia del motor junto con la velocidad de giro.	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA ROTATIVO	Peso del vehículo	N
				Potencia del motor	kW
				Velocidad de giro	rpm
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
Incrementar la zona de parqueo en una universidad de la región Lambayeque	La reducción de la congestión vehicular implicará una superficie determinada de estacionamiento que proporcionará una mejor fluidez de los vehículos. [6]	Para incrementar la zona de parqueo se medirá el área del estacionamiento con el fin de tener una superficie determinada para el diseño.	SUPERFICIE DE ESTACIONAMIENTO	Área	m ²

Tabla 2: Matriz de operabilidad

Fuente: Elaboración propia

DISEÑO DE UN ESTACIONAMIENTO VERTICAL AUTOMATIZADO PARA INCREMENTAR LA ZONA DE PARQUEO EN UNA UNIVERSIDAD DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE				
PROBLEMA	OBJETIVOS GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES VARIABLE INDEPENDIENTE	METODOLOGÍA DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
¿En qué medida un estacionamiento vertical automatizado permitirá incrementar la zona de parqueo en una universidad de la región Lambayeque?	Diseñar un estacionamiento vertical automatizado que permita incrementar la zona de parqueo en una universidad de la región Lambayeque.	Si se realiza el diseño de un estacionamiento vertical automatizado, entonces, se incrementará el área de parqueo en una universidad de la región Lambayeque.	Diseño de un estacionamiento vertical automatizado	Tipo aplicada-cuantitativa con utilización de software SolidWorks.
	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	INDICADORES	TÉCNICA: Recolección de datos
			Capacidad, potencia, velocidad de giro.	Se usará la observación de la cantidad de vehículos en la universidad
	Diagnosticar la situación actual de la zona de parqueo en una universidad del norte del país.	Si se diagnostica la situación actual de la zona de parqueo de una universidad del norte del país, entonces, se definirá la demanda de estacionamiento.	VARIABLE DEPENDIENTE	POBLACIÓN Y MUESTRA
	Diseñar conceptualmente el estacionamiento vertical para conocer los parámetros de los componentes.	Si se diseña conceptualmente el estacionamiento vertical entonces se conocerán los parámetros de los componentes.	Incrementar la zona de parqueo	La unidad de estudio son los vehículos que requieran ingresar a la universidad y vehículos en la vía pública.
	Diseñar electromecánicamente el estacionamiento vertical para dimensionar los sistemas estructurales y seleccionar los componentes eléctricos.	Si se diseña electromecánicamente el estacionamiento vertical entonces se obtendrá el diseño estructural del estacionamiento y los componentes eléctricos.	INDICADORES	La población serán todos los estacionamientos verticales automatizados del país y la muestra será la zona de parqueo de la universidad.
	Analizar el estacionamiento vertical automatizado aplicando software de simulación para conocer el comportamiento estático del sistema.	Si se realiza el análisis del estacionamiento vertical automatizado, entonces, se conocerá el comportamiento estático del sistema.	Superficie	
	Evaluar mediante una estructura de costos el estacionamiento vertical automatizado.	Si se evalúan los costos de los componentes del estacionamiento vertical automatizado, entonces, se conocerá el costo total del proyecto.		

Tabla 3: Matriz de consistencia
Fuente: Elaboración propia

5.4.TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN:

5.4.1 Tipo de investigación

Es un tipo de investigación aplicada, ya que su objetivo principal fue aplicar conocimientos adquiridos para dar solución al problema de la falta de estacionamientos en una universidad diseñando un estacionamiento vertical automatizado.

5.4.2 Nivel de investigación

Se encuentra en un nivel descriptivo, debido a que tuvo como finalidad diagnosticar la situación actual del estacionamiento en una universidad de la región Lambayeque y a la vez un nivel no experimental porque las variables se obtuvieron de forma directa y se buscó dar soluciones para las necesidades existentes.

5.4.3 Población y muestra

La población de esta investigación son todos los estacionamientos verticales automatizados del país, y la muestra es el estacionamiento de una universidad del norte del país.

5.4.4 Enfoque de la investigación

Tiene un enfoque cuantitativo porque se utilizó la recolección de datos del estacionamiento en una universidad de la región Lambayeque.

5.4.5 Técnicas e instrumentos

Para el desarrollo del diagnóstico de la situación actual de la zona de parqueo se procedió a utilizar como instrumento metodológico la ficha de observación que nos permitió obtener información necesaria acerca de los estacionamientos en una universidad de la región Lambayeque. También se utilizó la ficha técnica como instrumento metodológico permitiendo conocer dimensiones de los vehículos en la universidad.

5.5.MÉTODOS Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

Para el diagnóstico se utilizó el método de análisis cuantitativo permitiendo obtener promedios de los días y horas donde el estacionamiento de la universidad estaba lleno al 100%. Otro método que se utilizó es el de la matriz morfológica indicado en el ítem 6.2 que ayudó a generar diferentes combinaciones de atributos para el diseño conceptual. También se utilizó un método deductivo que, mediante fundamentos teóricos, fórmulas y análisis en software se realizó el diseño del estacionamiento vertical automatizado.

Finalmente, se utilizó el método de costos estándar utilizando el precio de todos los componentes eléctricos y piezas mecánicas de acuerdo al diseño para determinar el costo total del estacionamiento vertical automatizado.

VI. RESULTADOS:

6.1. Diagnóstico de la situación actual de la zona de parqueo en una universidad del norte del país:

En esta investigación se diagnosticó la cantidad de vehículos por año de los últimos 10 años de la zona norte del Perú [Anexo 1] que comprende los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad. Según el [Anexo 2] se observa que en el departamento de Piura la cantidad de vehículos se incrementa en un promedio de 2 929 vehículos por año, mientras que en el departamento de Lambayeque el incremento promedio de vehículos es de 3 081 y en el departamento de La Libertad es de 6 321 vehículos por año, caso contrario sucede en el departamento de Tumbes donde se observa una caída de la cantidad de vehículos reduciendo en promedio 18 vehículos por año.

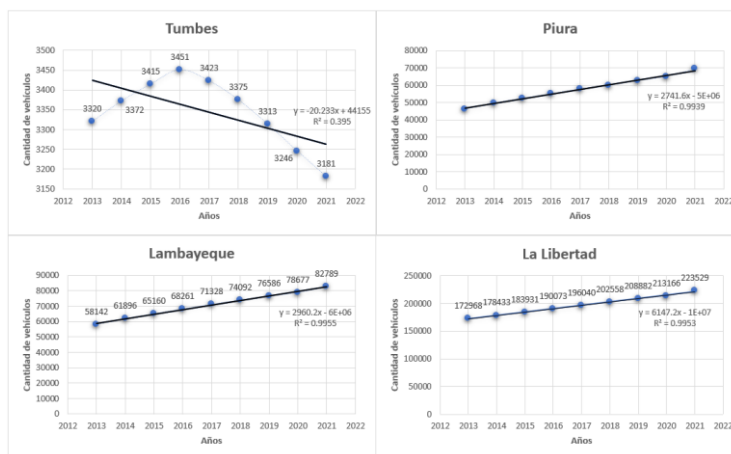


Figura 20: Gráfica de la cantidad de vehículos por año de la zona norte

Fuente: MTC

En la Figura 20 se puede observar que las ventas han experimentado un crecimiento constante y significativo siguiendo una línea de tendencia creciente en cada uno de los departamentos. En el departamento de Lambayeque se llegaron a vender en el último año una cifra de 82 789 vehículos entendiéndose así que en los próximos años seguirá en aumento. Se nota que la tendencia de crecimiento para el departamento de Lambayeque está en el rango de 8,14%.

Por otro lado, también se analizaron los crecimientos por tipos de vehículos de los últimos 5 meses con respecto al año anterior obteniendo la siguiente tabla:

CRECIMIENTO DE TIPOS DE VEHÍCULOS DEL AÑO 2023 CON RESPECTO DEL AÑO ANTERIOR					
Vehículo	Variación respecto al periodo abril 2022	Variación respecto al periodo mayo 2022	Variación respecto al periodo junio 2022	Variación respecto al periodo julio 2022	Variación respecto al periodo agosto 2022
Sedan	-1.20%	-2.40%	-5.00%	-4.70%	-3.30%
Camionetas	24.90%	31.30%	34.30%	35.00%	32.60%
SUV	14.50%	12.90%	12.90%	12.20%	11.70%
Pick up	2.90%	0.10%	0.10%	1.50%	4.10%

Tabla 4: Crecimiento por tipo de vehículo con respecto al año anterior

Fuente: Asociación Automotriz del Perú (APP)

De acuerdo con la Tabla 4 los vehículos Sedan tuvieron un decremento del 3,32% respecto del año anterior, mientras que las camionetas fueron las más vendidas a nivel de todo el Perú con un promedio de 31,62% por mes.

Mediante la observación también se obtuvieron resultados del porcentaje de espacios llenos por días de la semana en una universidad del norte del país.

Donde el 0-25% = Estacionamiento vacío, 25%-50% = Estacionamiento medio vacío, 50%-75% = Estacionamiento medio lleno, 75%-90% = Estacionamiento lleno con pocos espacios para estacionarse, 90%-100% = Estacionamiento completamente lleno.

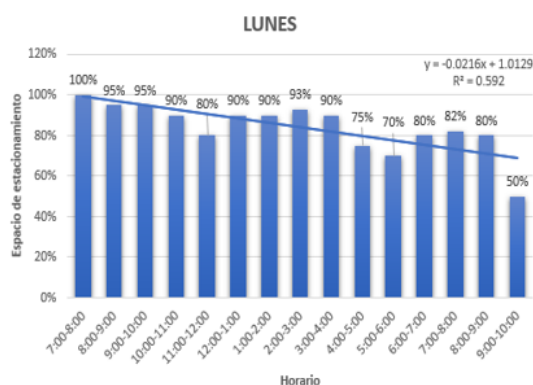


Figura 21: Gráfica de porcentaje de espacios llenos del día Lunes

Fuente: Elaboración propia

Debido a que la universidad solo cuenta con un aproximado de 170 espacios de estacionamiento en un área total de 4 048,05 m² en la universidad [Anexo3]. Se puede evidenciar la falta de estacionamientos ya que la mayoría de los días el estacionamiento de la universidad permanece lleno la mayor parte del día [Anexo 4]. Según la Figura 21 observamos que entre las 7:00 a.m. y 10:00 a.m., 12:00 p.m. y 3:00 pm la capacidad del

estacionamiento se encuentra completamente lleno, haciendo un total de 6 horas completamente lleno y entre los horarios restantes el estacionamiento se encuentra con pocos espacios donde estacionar el vehículo generando que muchos vehículos se queden fuera de la universidad esperando a que se libere el espacio.

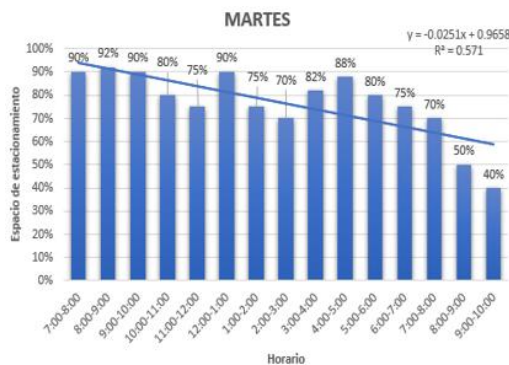


Figura 22: Gráfica de porcentaje de espacios llenos del día Martes
 Fuente: Elaboración propia

En la Figura 22 se puede evidenciar que entre las 7:00 a.m. y 10:00 a.m. el estacionamiento se encuentra completamente lleno, quedando pocos espacios donde estacionar entre las 11:00 a.m. hasta la hora de ingreso del turno tarde de los estudiantes que sería entre las 12:00 p.m. y 1:00 p.m. donde el estacionamiento quedaría completamente lleno otra vez haciendo un total de 12 horas entre el estacionamiento completamente lleno y con pocos espacios de estacionamiento.

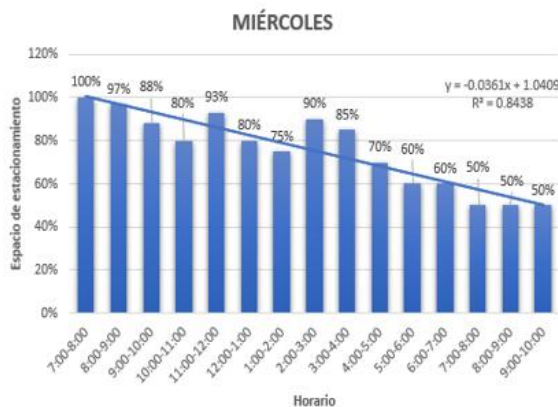


Figura 23: Gráfica de porcentaje de espacios llenos del día Miércoles
 Fuente: Elaboración propia

En la Figura 23 se observa que los estacionamientos para el día miércoles está completamente lleno desde las 7:00 a.m. hasta las 9:00 am volviéndose a llenar entre las 11:00 a.m. y 12:00 p.m., 2:00 p.m. y 3:00 p.m. haciendo un total de 9 horas entre el estacionamiento completamente lleno y con pocos espacios de estacionamiento.

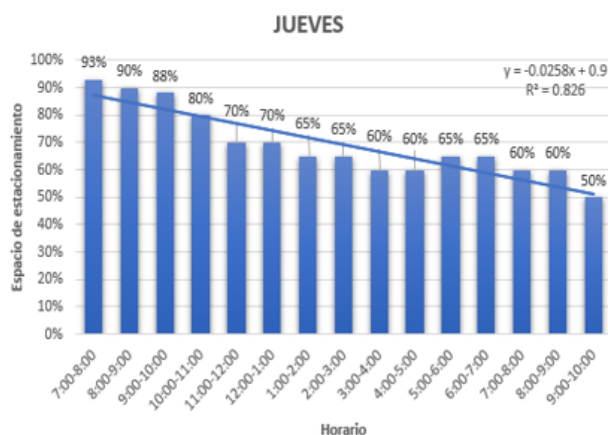


Figura 24: Gráfica de porcentaje de espacios llenos del día Jueves

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 24 se evidencia que las horas donde el estacionamiento se encuentra completamente lleno son entre las 7:00 a.m. y 9:00 a.m., sin embargo, la mayor parte del día el estacionamiento se encuentra lleno, pero con pocos espacios para estacionarse haciendo un total de 4 horas entre estacionamiento completamente lleno y con espacios de estacionamiento.

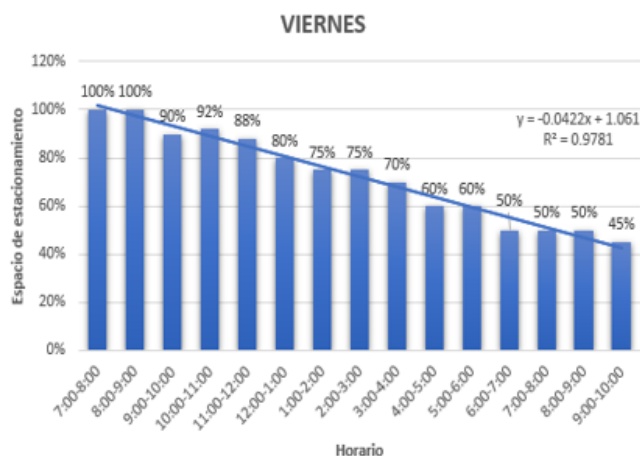


Figura 25: Gráfica de porcentaje de espacios llenos del día Viernes

Fuente: Elaboración propia

Para el día Viernes en la Figura 25 se observa que el estacionamiento de la universidad está completamente lleno entre las horas 7:00 a.m. hasta las 11:00 a.m. generando que por aproximadamente 8 horas el estacionamiento esté completamente lleno y con pocos espacios de estacionamiento.

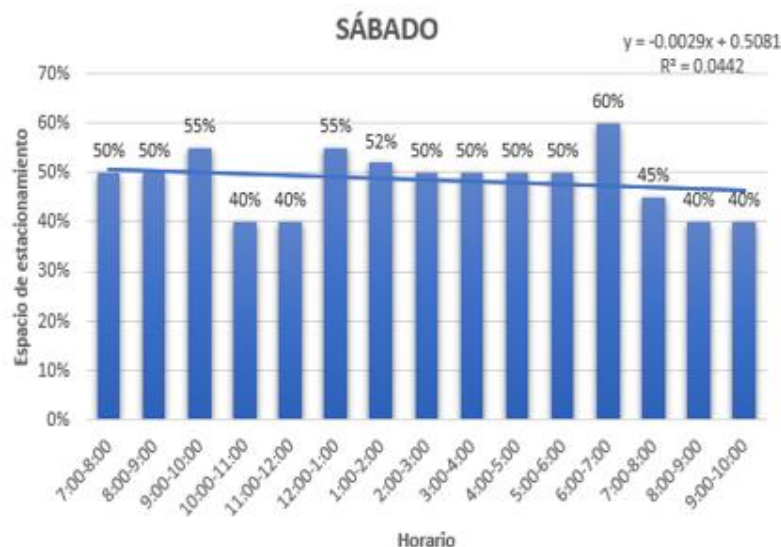


Figura 26: Gráfica de porcentaje de espacios llenos del día Sábado

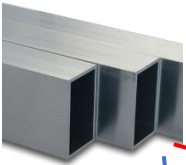


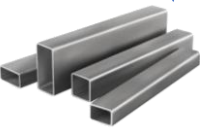

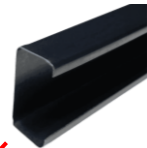

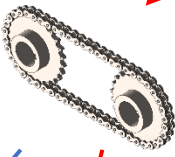




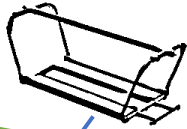


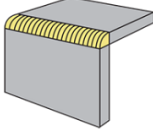

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el día Sábado pocos estudiantes asisten a la universidad, en la Figura 26, se puede observar que el estacionamiento de la universidad se encuentra medio lleno, habiendo suficientes espacios vacíos para poder estacionar vehículos.

6.2. Diseño conceptual del estacionamiento:

Para llevar a cabo el diseño se conceptual se usaron 2 tipos de matrices: Morfológica y Ponderada, que se basa en organizar y evaluar múltiples opciones o alternativas en el proceso de diseño. Permiten estructurar de manera clara y visual las diferentes partes o componentes del diseño. En la Tabla 6 se seleccionó el material mediante un estudio de materiales [Figura 27] resultando la mejor opción el Acero ASTM A572. Para la selección de perfil se seleccionó el Tipo rectangular ya que al tener secciones transversales uniformes en todas las direcciones significará que son más efectivos para distribuir uniformemente la carga y los esfuerzos a lo largo de la estructura. Tanto para vigas principales y secundarias se utilizó el tubo hueco debido a su menor peso con respecto a los demás perfiles y toda la estructura tendrá un montaje de elementos soldados. Se usó una transmisión por cadenas con un eje circular macizo y un motor reductor helicoidal de eje paralelo debido a que hay una capacidad de carga grande. El lugar donde se quedarán los carros estacionados tendrá la forma de cesta con sensores foto eléctricos reflexivos que permitan identificar si el espacio está lleno o vacío.

6.2.1. Matriz morfológica

ATRIBUTOS		VARIACIONES DE ATRIBUTOS		
		1	2	3
1	Material	Acero AISI 4340	Acero ASTM A36	Acero ASTM A572
2	Perfil	Tipo rectangular 	Tipo cuadrado 	Tipo W 
3	Vigas principales y secundarias	Tubo hueco 	Perfil W 	Perfil C 
4	Transmisión	Fajas 	Cadenas 	
5	Eje de transmisión	Macizo 	Hueco 	Cuadrado 
6	Paletts	Plataforma 	Cesta 	Montacarga 
7	Montaje de elementos	Empernado 	Soldado 	Remachado 

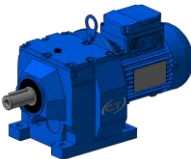
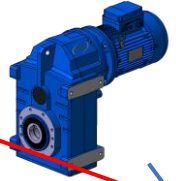




8	Motorreductor	Helicoidal 	Helicoidal de eje paralelo 	Spiroplan 
9	Sensores	Capacitivos 	Ópticos 	Fotoeléctricos reflexivo 

Tabla 5: Matriz morfológica extendida
 Fuente: Elaboración propia

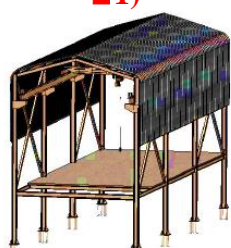

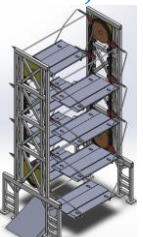
DISEÑO	ESTACIONAMIENTO VERTICAL		
ALTERNATIVA			
VENTAJAS	-Estacionamiento para 5 vehículos.	-Estructura más compacta.	-Requiere menos superficie para la instalación. -Estacionamiento para 8 vehículos.
DESVENTAJAS	-Requiere más superficie para la construcción.	-Requiere más superficie para la construcción.	-Más pesado.

Tabla 6: Matriz morfológica
 Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Matriz ponderada

En la Tabla 4 se identificaron 3 diseños conceptuales para la matriz ponderada considerando 5 factores importantes

Donde 0=No aceptable, 1=Moderadamente aceptable, 2=Aceptable, 3=Bueno, 4=Muy bueno, 5=Ideal.

FACTORES	DISEÑO CONCEPTUAL			
	Peso	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Menor uso de superficie	0,5	2	1	5
Seguridad	0,4	5	5	5
Capacidad	0,5	1	4	4
Salidas y accesos rápidos	0,3	3	3	4
Mantenimiento	0,4	3	3	3
TOTAL		5,6	6,6	8,9

Tabla 7: Matriz ponderada

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber aplicado la matriz morfológica se procedió a seleccionar por ponderado el diseño conceptual que se usaría en esta investigación, resultando el diseño 3 con mayor puntaje.

6.2.3. Selección de material

Se escogieron 3 tipos de acero para hacer la selección de material estos son: Acero normalizado AISI 4340, Acero ASTM A36, Acero A572. Cada uno de estos materiales con sus respectivas propiedades como se muestra en el [Anexo 5]. Posterior a ello se procedió a realizar un estudio de propiedades comparado con un material de referencia [Anexo 6] obteniendo la siguiente gráfica.

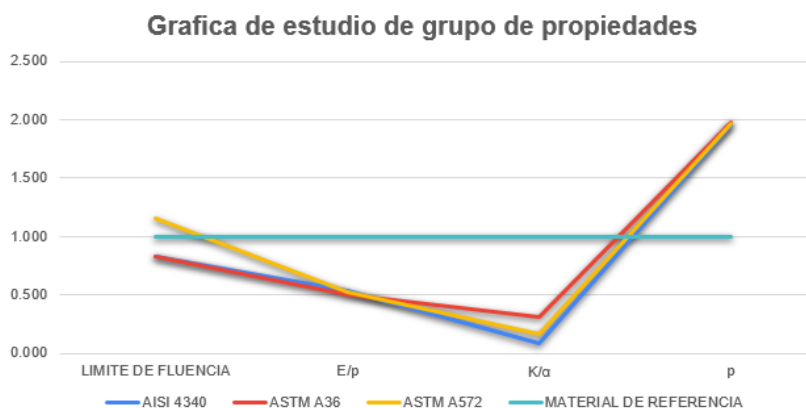


Figura 27: Gráfica de estudio de grupo de propiedades

Fuente: Elaboración propia

Según los criterios establecidos [Anexo 7] se procedió a seleccionar el material obteniendo así el acero ASTM A572 como el más apropiado para nuestro diseño porque tiene una mayor resistencia a las deformaciones (límite de fluencia).

6.3. Diseño electromecánico del estacionamiento vertical

Para el cálculo de las cargas vivas primero se diagnosticó cuáles son los tipos de vehículos permitidos para el estacionamiento tomando como referencia los vehículos más recurrentes en la universidad.

MARCA	MODELOS	LARGO (mm)	ALTO (mm)	ANCHO (mm)	PESO (Kgf)
Toyota	Hilux	5 325	1 815	1 855	2 175
	Yaris	2 560	1 500	1 745	1 080
	RAV4	2 690	1 685	1 855	1 665
	Corolla	4 370	1 435	1 790	1 360
	4runner	4 830	1 780	1 925	2 855
	Raize	4 030	1 635	1 710	1 680
Kia	Rio	4 070	1 450	1 725	1 130
	Sportage	2 680	1 650	1 865	1 595
	Soul	4 140	1 605	1 800	1 275
	Cerato	4 480	1 470	1 735	1 281
Hyundai	Elantra	4 530	1 445	1 775	1 220
	Santa FE	4 785	1 700	1 900	1 910
	Creta	4 300	1 635	1 790	1 178
	i20	4 065	1 529	1 760	1 115
Chevrolet	Spark	3 595	1 522	1 597	864
Suzuki	Grand Vitara	4 500	1 695	1 810	1 729
	Alto	3 446	1 475	1 455	1 185
	Celerio	3 695	1 540	1 655	830
Nissan	Sentra	4 640	1 455	1 815	1 670
	Frontier	5 260	1 860	1 850	2 076
Volkswagen	Jetta	2 651	1 482	1 778	1 309
	Amarok	5 191	1 878	1 954	2 213
Changan	New CS15	4 100	1 635	1 740	1 585
Daewoo	Tico	3 340	1 395	1 400	620
	Matiz	3 495	1 485	1 495	851

Tabla 8: Lista de vehículos más recurrentes en la universidad y sus dimensiones

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 6 se procedió a seleccionar el vehículo con mayor masa siendo este Toyota Hilux con un peso de 2 175 Kgf, debido a que algunos modelos vienen con diferentes componentes que alteran el peso del vehículo, se usará un peso de 2 500 Kgf para generalizar el peso de todos los vehículos y así lograr calcular la potencia requerida del motor.

En consideraciones a la cantidad de vehículos que tendrá nuestro diseño, 8 en total, el peso neto será de 20 000 Kgf y la distancia entre ejes de 308,5 cm datos que se usará para el estudio estático y dinámico del sistema.

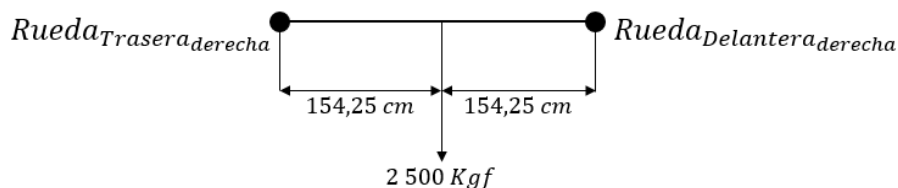


Figura 28: DCL de la vista lateral Toyota Hilux

Fuente: Elaboración propia

Luego se realiza la sumatoria de fuerzas y momentos en el eje Y para calcular la fuerza en ambos puntos (ubicadas en los apoyos de las llantas).

$$\sum F_y = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$R_{T_d} + R_{D_d} = 2\,500\text{ Kgf}$$

$$\sum M_{R_{T_d}} = 0$$

$$2500\text{ Kgf} * 154,25\text{ cm} = 308,5\text{ cm} * R_{D_d}$$

$$R_{D_d} = R_{T_d} = 1250\text{ Kgf}$$

Seguidamente se procede a calcular las fuerzas ejercidas por cada llanta

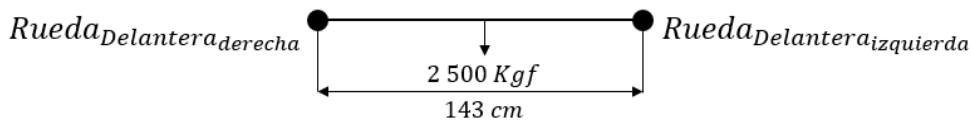


Figura 29: DCL de la vista frontal Toyota Hilux

Fuente: Elaboración propia

$$Rueda_{delantera\ derecha} = \frac{\text{Carga viva en el eje}}{\text{N}^\circ \text{ de ejes}} \dots\dots\dots(2)$$

$$Rueda_{delantera\ derecha} = \frac{1250\text{ Kgf}}{2}$$

$$Rueda_{delantera\ derecha} = 625\text{ Kgf}$$

Debido a que es simétrico los valores de cada rueda serán iguales

$$Rueda_{delantera\ izquierda} = 625\text{ Kgf}$$

6.3.1. Cálculos de la potencia requerida del motor

Primero se debe calcular la longitud media de la cadena que va sujeta a cada eslabón para eso se usará la distancia que hay entre cada uno de los engranajes que hace referencia a los costados de la cadena más la fórmula del perímetro de un círculo.

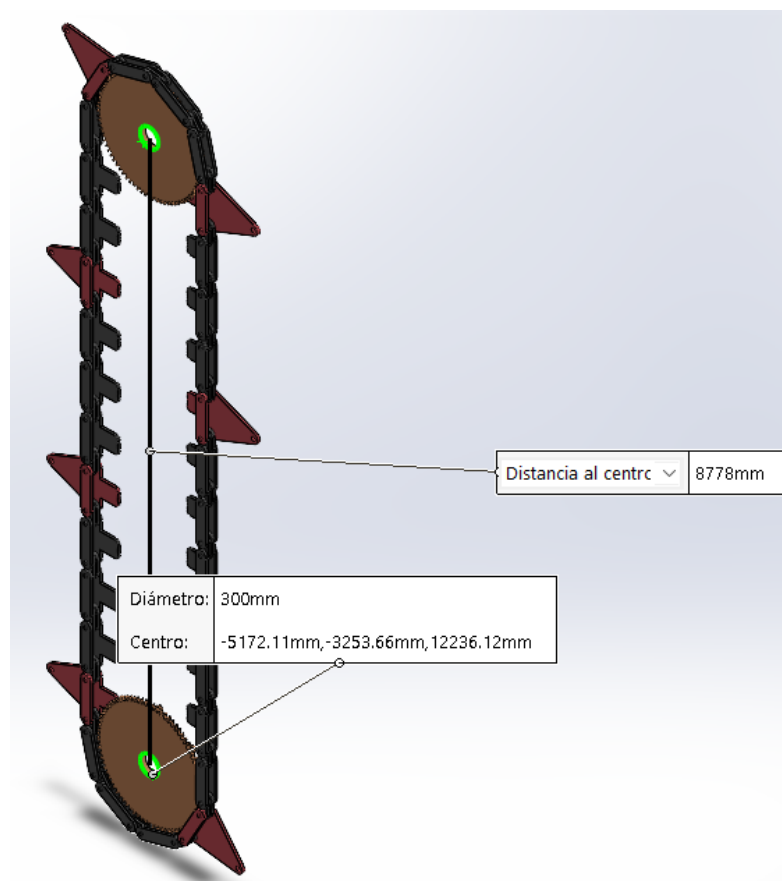


Figura 30: Medidas en mm de la cadena y engranajes

Fuente: Elaboración propia

$$L_{cadena} = D_C(2) + 2(\pi)(R) \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

D_C = Distancia entre los centros de los engranajes

R = Radio de los engranajes

Entonces:

$$L_{cadena} = 8,778 \text{ m} (2) + 2(\pi)(0,15 \text{ m})$$

$$L_{cadena} = 18,5 \text{ m}$$

$$\rightarrow L_{media \text{ de cadena}} = \frac{18,5}{2} = 9,25 \text{ m}$$

Según la Tabla 6 Matriz Morfológica extendida, se trabajará con un motor reductor de tipo helicoidal y seleccionaremos uno con velocidad de 6m/min con el objetivo de lograr que al momento de girar el estacionamiento los vehículos no se muevan bruscamente.

Para hallar la velocidad angular se usará la fórmula de $d=v*t$ donde d es la longitud media de la cadena, v es velocidad lineal del motor reductor y t es tiempo de giro.

$$t = \frac{d}{v} \dots \dots \dots (4)$$

$$t = \frac{9,25 \text{ m}}{6 \text{ m/min}}$$

$$t = 1,54 \text{ min}$$

Una vez obtenido el tiempo se pasa a calcular la velocidad angular.

$$W = \frac{V}{R} \dots \dots \dots (5)$$

Donde: W es la velocidad angular, V es la velocidad lineal del motor reductor y R es el radio del engranaje que se puede observar en la figura 17.

$$W = \frac{(6 \frac{\text{m}}{\text{min}})(\frac{1 \text{ m}}{60 \text{ s}})}{0,15 \text{ m}}$$

$$W = 0,66 \text{ RPM} \rightarrow 0,06911 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Una vez obtenidas las revoluciones del motor se procederá a calcular su potencia, en la cual se tendrá en cuenta el peso de la cesta donde va a estar ubicado el vehículo (Figura 31).

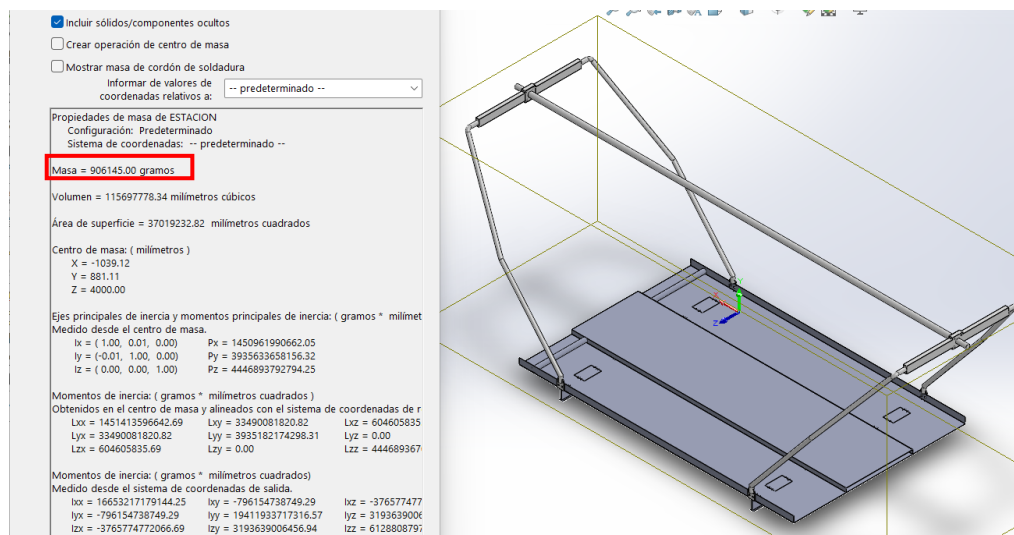


Figura 31: Masa en gramos de la cesta

Fuente: Elaboración propia

Para esto debemos pasar la masa de gramos (gr.) a Newton (N). Según la Figura 17 la cesta tiene una masa de 906 145 gr. que pasándolo a N nos daría un total de 8886,25 N. Adicionalmente se sumaría el peso de los 8 vehículos que entrarán en el estacionamiento dando un total de 196 200 N.

$$P_{8 \text{ cestas}} + P_{8 \text{ vehiculos}} = 71 \text{ 090 N} + 196 \text{ 200 N}$$

$$P_{\text{total}} = 267 \text{ 290 N}$$

Debido a que el estacionamiento es en forma de carrusel estará dividido en dos columnas se calculará una fuerza media con respecto al peso total.

$$P_{total_{medio}} = \frac{267\,290\,N}{2}$$

$$P_{total_{medio}} = 133\,645\,N$$

Ahora se procede a realizar el cálculo del torque donde se multiplica el radio de la cadena por el peso en ambas columnas.

$$T = P_{total_{medio}} * \text{radio de la cadena} \dots \dots \dots (6)$$

$$T = 133\,645\,N * 1,5\,m$$

$$T = 200\,467,5\,Nm$$

Posteriormente procedemos a calcular la potencia del motor con el torque obtenido anteriormente. Donde T=torque, W=velocidad angular

$$P = T * W \dots \dots \dots (7)$$

$$P = 200\,467,5\,Nm * 0,069 \frac{rad}{s}$$

$$P = 13\,832,257\,w$$

$$P = 13,83\,kw$$

$$P = 18,5\,HP$$

Debido a que no hay motores de 13,83 kW se procede a seleccionar el mayor más cercano que sería de 15 kW, para este caso se seleccionó el motor eléctrico trifásico de la marca Berklin tipo Y3-160L-4 polos de 15kW /20HP con voltajes de 440/380/220 V, con una frecuencia de 60 Hz, un factor de potencia de 0.85 y 1750 revoluciones por minuto (RPM).



Figura 32: Motor Berklin seleccionado

Fuente: Catálogo Berklin

Entonces:

$$P_{requerida_{motor}} = \frac{P_{util\ del\ motor}}{Eficiencia^3} \dots \dots \dots (8)$$

$$P_{requerida_{motor}} = \frac{18,5\,RPM}{0,98^3}$$

$$P_{requerida_{motor}} = 19,65 \text{ HP}$$

$$P_{requerida_{motor}} = 14,65 \text{ kW}$$

Para calcular la reducción del motor se tiene en cuenta la relación de transmisión entre los engranajes (E1=12 dientes, E2=48 dientes, E3=16 dientes y E4=83 dientes). Entonces la reducción por engranajes sería:

$$\text{Reducción 1} = \frac{E4}{E3} = \frac{83}{16} = 5,1875$$

Este resultado se multiplica por la velocidad angular

$$5,1875 * 0,66 = 3,424 \text{ RPM o } 0,3585 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{Reducción 2} = \frac{E2}{E1} = \frac{48}{12} = 4$$

Entonces:

$$\text{RPM}_{mreductor} = 4 * 0,3585 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1,434 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \text{ o } 13,6957 \text{ RPM}$$

El motor escogido es de 1750 RPM, por lo tanto, si lo pasamos a rad/s sería 183,26 rad/s.

$$\text{Relación} \frac{\text{motor}}{\text{reductor}} = \frac{1750}{13,6957} = 127,77 \text{ RPM}$$

6.3.2. Cálculo para seleccionar la cadena de transmisión

En primer lugar, se procede a calcular la potencia corregida teniendo en cuenta 5 factores (K2, K3, K4, K5) indicados en los Anexos 25 al 29 respectivamente. Para hallar la potencia corregida se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_c = K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * P_{motor} \dots \dots \dots (9)$$

Calculamos K2, debido a que solo se contará con 1 cadena de transmisión dicho coeficiente de multiplicidad será 1.

$$K_2 = 1 \text{ cadena}$$

Calculamos K3, como no se sabe el número de eslabones el coeficiente será la unidad.

$$K_3 = 1$$

Calculamos K4, al tratarse de un diseño que va a soportar distintos pesos de vehículos según el Anexo 28 se trataría de una carga irregular por lo tanto el factor de servicio es de 1,3.

$$K_4 = 1,3$$

Calculamos K5, el coeficiente de vida útil le colocaremos 15000 horas que según el Anexo 29 sería 1.

$$K_5 = 1$$

Reemplazamos en la ecuación (9):

$$P_c = 1 * 1 * 1,3 * 1 * 14,65 kW$$

$$P_c = 19,045 kW$$

6.3.3. Cálculo para obtener la longitud de la cadena

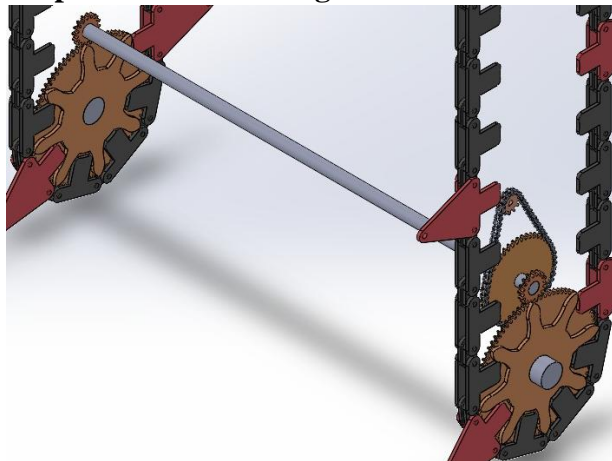


Figura 33: Cadena y sistema de transmisión

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la potencia corregida se procede a seleccionar el tipo de cadena según el gráfico en el Anexo 30. Obteniendo así una cadena de tipo 40B (europea), de paso 63,5 mm. Con estos datos procedemos a calcular la longitud de la cadena mediante la siguiente fórmula

$$L = 2 * D_c + \frac{P}{2} * (N^{\circ}E1 + N^{\circ}E2) + \frac{P^2 * (N^{\circ}E2 - N^{\circ}E1)^2}{4 * \pi^2 * D_c} \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

L=Longitud de la cadena

D_c=Distancia entre los centros de las ruedas (946,74 mm)

N[°]E1=Número de dientes en el piñón (12)

N[°]E2=Número de dientes en la rueda (48)

P=Paso de la cadena (63,5 mm)

Reemplazando en la ecuación (10):

$$L = 2 * 946,74 + \frac{63,5 \text{ mm}}{2} * (12 + 48) + \frac{(63,5 \text{ mm})^2 * (48 - 12)^2}{4 * \pi^2 * 946,74 \text{ mm}}$$

$$L = 3\,938,297 \text{ mm} \rightarrow 393,83 \text{ cm}$$

Una vez obtenida la longitud de la cadena se procede a calcular los pasos de la cadena con la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{ de pasos} = \frac{\text{Longitud de la cadena}}{\text{paso de la cadena}} \dots\dots\dots(11)$$

$$N^{\circ} \text{ de pasos} = \frac{3\,938,3 \text{ mm}}{63,5 \text{ mm}}$$

$$N^{\circ} \text{ de pasos} = 62,02 \rightarrow 62 \text{ pasos}$$

6.3.4. Comprobación de la velocidad lineal de la cadena

Para la comprobación de la velocidad lineal de la cadena se necesitará el paso de la cadena en metros (0,0635), número de dientes del piñón (12) y la velocidad de giro en RPM (13,69) reemplazándolos en la siguiente fórmula:

$$V_{\text{lineal}} = \frac{\text{Paso} * N^{\circ} * E1 * V_{\text{giro}}}{60} \dots\dots\dots(12)$$

$$V_{\text{lineal}} = \frac{0,0635 * 12 * 13,6957}{60}$$

$$V_{\text{lineal}} = 0,174 \text{ m/s}$$

Debido al paso de la cadena en el Anexo 31 se evidencia que su velocidad máxima es de 10 m/s entonces se comprueba que dicha velocidad obtenida (0,174 m/s) no supera a la velocidad máxima.

6.3.5. Comprobación del esfuerzo total soportado de la cadena

Para lograr obtener el esfuerzo útil (F_u) se tiene en cuenta la potencia requerida del motor, velocidad lineal; así como también, la fuerza centrífuga de la cadena donde necesitaremos el peso (m) en kg/m de la cadena [Anexo 32].

$$F_u = \frac{\text{Potencia}_{\text{requerida}_{\text{motor}}}(\text{W})}{\text{Velocidad}_{\text{lineal}}(\frac{\text{m}}{\text{s}})} + m_{\text{cadena}}(\frac{\text{kg}}{\text{m}}) * \left(\text{Velocidad}_{\text{lineal}}(\frac{\text{m}}{\text{s}}) \right)^2 \dots\dots\dots(13)$$

Reemplazando en la fórmula (13) obtenemos:

$$F_u = \frac{14\,650 \text{ W}}{0,174 \text{ m/s}} + 16 * (0,174 \text{ m/s})^2$$

$$F_u = 84\,195,8 \text{ N}$$

6.3.6. Comprobación mediante el coeficiente de seguridad de la cadena

Dicho coeficiente está dado por la siguiente fórmula:

$$C_s = \frac{R}{F_u} \dots\dots\dots(14)$$

Donde:

C_s = Coeficiente de seguridad

R = carga de rotura (Kp)

F_u = Esfuerzo útil en (Kp)

La carga de rotura según el Anexo 32 para nuestra cadena escogida es de 38 000 Kp.

Entonces al reemplazar en la fórmula obtenemos:

$$C_s = \frac{38\,000}{8\,585,58}$$

$$C_s = 4,43$$

Al darnos un factor de seguridad de 4,43 quiere decir que la selección de la cadena soportará la carga aplicada.

6.3.7. Cálculo de engranajes requeridos

Para el cálculo de engranajes se debe tener en cuenta algunos datos evidenciados en la Figura 34

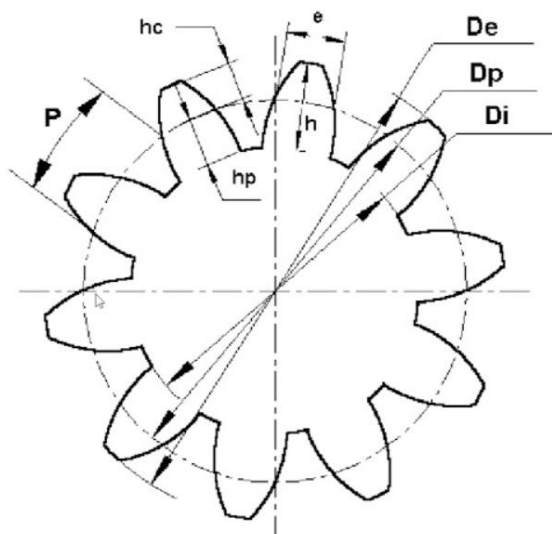


Figura 34: Datos para el cálculo de engranajes

Fuente: Tecnicatura en equipos e instalaciones electromecánicas 2020

Donde:

De = Diámetro exterior

Dp = Diámetro primitivo

Di = Diámetro interior

h = Altura de la cresta

e = Espesor del diente

hp = Altura inferior de la cresta

h_c = Altura superior de la cresta

P = Paso diametral

➤ **Cálculo del primer engranaje**

Primero se calcula el diámetro primitivo (D_p) del engranaje teniendo en cuenta que el número de dientes es 12, el paso de la cadena seleccionada anteriormente es de 63,5 mm y tenemos un módulo (m) entre el paso primitivo y el número de dientes de 20,23 mm. Se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$D_p = m * N^\circ \text{ de dientes} \dots \dots \dots (15)$$

$$D_p = 20,23 \text{ mm} * 12$$

$$D_p = 242,76 \text{ mm}$$

Luego se calcula la altura superior de la cresta (h_c) utilizando el módulo (m) en milímetros.

$$h_c = 1 * m \dots \dots \dots (16)$$

$$h_c = 1 * 20,23 \text{ mm}$$

$$h_c = 20,23 \text{ mm}$$

Luego procedemos a calcular la altura inferior de la cresta (h_p) mediante la siguiente fórmula:

$$h_p = 1,25 * m \dots \dots \dots (17)$$

$$h_p = 1,25 * 20,23 \text{ mm}$$

$$h_p = 25,28 \text{ mm}$$

Una vez obtenidas las dos alturas tanto la superior como inferior de la cresta se procede a calcular la altura total de la cresta.

$$h = h_c + h_p \dots \dots \dots (18)$$

$$h = 20,23 \text{ mm} + 25,28 \text{ mm}$$

$$h = 45,51 \text{ mm}$$

Procedemos ahora a calcular el diámetro exterior (D_e) del engranaje

$$D_e = D_p + 2 * h_c \dots \dots \dots (19)$$

$$D_e = 242,76 \text{ mm} + 2 * 20,23 \text{ mm}$$

$$D_e = 283,22 \text{ mm}$$

Calculamos el diámetro interior (D_i) del engranaje

$$D_i = D_p - 2 * h_p \dots \dots \dots (20)$$

$$D_i = 242,76 \text{ mm} - 2 * 25,28 \text{ mm}$$

$$D_i = 192,2 \text{ mm}$$

Ahora calcularemos el espesor de la cresta teniendo en cuenta el módulo (m) mediante la siguiente ecuación:

$$e = 0,5 * \pi * m \dots \dots \dots (21)$$

$$e = 0,5 * \pi * 20,23 \text{ mm}$$

$$e = 31,77 \text{ mm}$$

➤ **Cálculo del segundo engranaje**

Teniendo en cuenta que el número de dientes es 48; el paso de la cadena, el módulo (m) entre paso primitivo y número de dientes, la altura superior de la cresta (h_c), la altura inferior de la cresta (h_p) y el espesor de la cresta (e) vendrían a ser el mismo que el primer engranaje ya que estarán juntos y las crestas deben ser iguales. Calcularemos el diámetro primitivo (D_p) mediante la siguiente fórmula:

$$D_p = m * N^\circ \text{ de dientes} \dots \dots \dots (15)$$

$$D_p = 20,23 \text{ mm} * 48$$

$$D_p = 971,04 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el diámetro primitivo (D_p) procedemos a calcular el diámetro exterior (D_e) del engranaje.

$$D_e = D_p + 2 * h_c \dots \dots \dots (19)$$

$$D_e = 971,04 \text{ mm} + 2 * 20,23 \text{ mm}$$

$$D_e = 1011,5 \text{ mm}$$

Luego calculamos el diámetro interior (D_i) del engranaje.

$$D_i = D_p - 2 * h_p \dots \dots \dots (20)$$

$$D_i = 971,04 \text{ mm} - 2 * 25,28 \text{ mm}$$

$$D_i = 920,48 \text{ mm}$$

➤ **Cálculo del tercer engranaje**

Para el tercer engranaje el número de dientes a considerar será de 16 y un módulo (m) de 20 mm y con este dato procedemos a calcular el diámetro primitivo (D_p).

$$D_p = m * N^\circ \text{ de dientes} \dots \dots \dots (15)$$

$$D_p = 20,00 \text{ mm} * 16$$

$$D_p = 320,00 \text{ mm}$$

Luego se calcula la altura superior de la cesta (h_c) mediante la siguiente fórmula

$$h_c = 1 * m \dots \dots \dots (16)$$

$$h_c = 1 * 20,00 \text{ mm}$$

$$h_c = 20,00 \text{ mm}$$

Luego procedemos a calcular la altura inferior de la cresta (h_p) mediante la siguiente fórmula:

$$h_p = 1,25 * m \dots \dots \dots (17)$$

$$h_p = 1,25 * 20,00 \text{ mm}$$

$$h_p = 25,00 \text{ mm}$$

Una vez obtenidas las dos alturas se procede a calcular la altura total de la cresta.

$$h = h_c + h_p \dots \dots \dots (18)$$

$$h = 20,00 \text{ mm} + 25,00 \text{ mm}$$

$$h = 45,00 \text{ mm}$$

Procedemos ahora a calcular el diámetro exterior (D_e) del engranaje mediante la siguiente fórmula:

$$D_e = D_p + 2 * h_c \dots \dots \dots (19)$$

$$D_e = 320,00 \text{ mm} + 2 * 20,00 \text{ mm}$$

$$D_e = 360,00 \text{ mm}$$

Calculamos el diámetro interior (D_i) del engranaje

$$D_i = D_p - 2 * h_p \dots \dots \dots (20)$$

$$D_i = 320,00 \text{ mm} - 2 * 25,00 \text{ mm}$$

$$D_i = 270 \text{ mm}$$

Al obtener todos los datos, ahora calcularemos el espesor de la cresta teniendo en cuenta el módulo (m) mediante la siguiente ecuación:

$$e = 0,5 * \pi * m \dots \dots \dots (21)$$

$$e = 0,5 * \pi * 20,00 \text{ mm}$$

$$e = 31,416 \text{ mm}$$

➤ **Cálculo del cuarto engranaje**

Teniendo en cuenta que el número de dientes es 83; el paso de la cadena, el módulo (m) entre el paso primitivo y número de dientes, la altura superior de la cresta (h_c), la altura inferior de la cresta (h_p) y el espesor de la cresta (e) vendrían a ser el mismo que el tercer engranaje ya que estarán juntos y las crestas deben ser iguales. Entonces calcularemos el diámetro primitivo (D_p) con la siguiente fórmula:

$$D_p = m * N^\circ \text{ de dientes} \dots \dots \dots (15)$$

$$D_p = 20,00 \text{ mm} * 83$$

$$D_p = 1660,00 \text{ mm}$$

Luego una vez obtenido el diámetro primitivo (D_p) procedemos a calcular el diámetro exterior (D_e) del engranaje.

$$D_e = D_p + 2 * h_c \dots \dots \dots (19)$$

$$D_e = 1660,00 \text{ mm} + 2 * 20,00 \text{ mm}$$

$$D_e = 1700,00 \text{ mm}$$

Seguido de ello calculamos el diámetro interior (D_i) del engranaje.

$$D_i = D_p - 2 * h_p \dots \dots \dots (20)$$

$$D_i = 1660,00 \text{ mm} - 2 * 25,00 \text{ mm}$$

$$D_i = 1610,00 \text{ mm}$$

6.3.8. Cálculo de cargas internas de la estructura principal mediante el software SAP2000

En la figura 35 se pueden observar las cargas internas obtenidas mediante el Software SAP2000 utilizando el método de elementos finitos (MEF) donde existen cargas comprimidas (de color rojo) y cargas expandidas (de color azul).

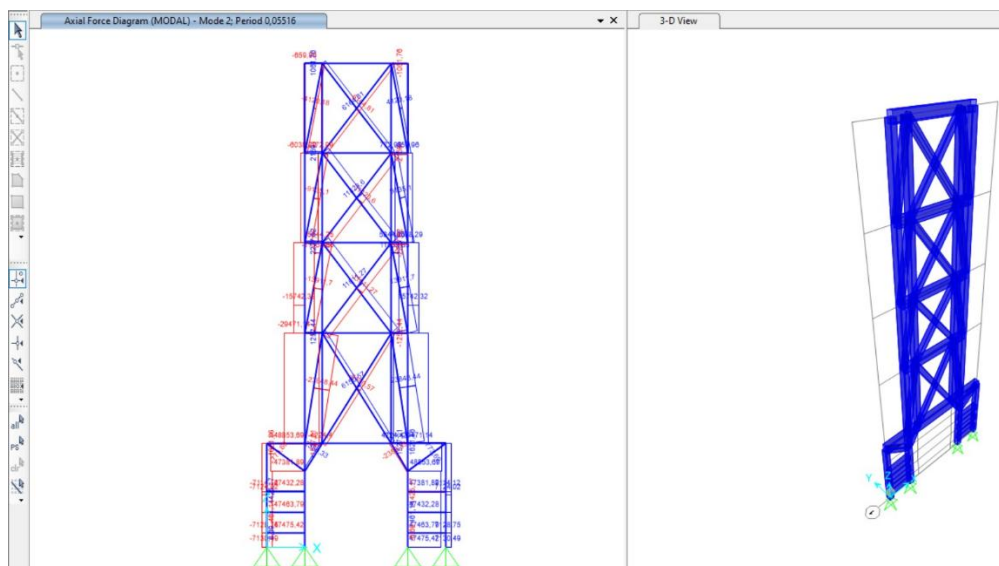


Figura 35: Cargas internas en el software SAP2000

Fuente: Elaboración propia

6.3.9. Sistemas de protección

Teniendo en cuenta el motor eléctrico trifásico seleccionado que tiene una potencia (P) de 15kW /20HP, un voltaje (V) de 220 V, un factor de potencia (F_p) de 0,85, un factor de servicio (F_s) de 1,15 y una eficiencia (n) del 81% se procede a calcular su corriente nominal (I_N) mediante la siguiente fórmula

$$I_N = \frac{P * F_s}{\sqrt{3} * V * F_p * n}$$

$$I_N = \frac{15\,000\,W * 1,15}{\sqrt{3} * 220\,V * 0,85 * 0,81}$$

$$I_N = 65,751\,A$$

Debido a que la corriente nominal es 65,751 A se debe utilizar un conductor de 16 mm² según el Anexo 33 y un interruptor termomagnético menor a dicha corriente en este caso sería un interruptor termomagnético industrial de 3 polos de 63 Amperios.

6.3.10. Automatización en el Software TIA PORTAL V15

La automatización consta de 4 segmentos, donde en el *Segmento 1* (Figura 36) se muestra el encendido y apagado del sistema mediante los botones “Start” y “Stop”, al activarse el botón “Start” se enciende el foco “ON” y da inicio a nuestro sistema.

Segmento 1: ENCENDIDO

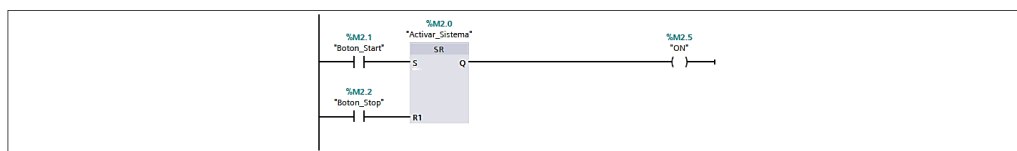


Figura 36: Segmento 1 de la automatización

Fuente: Elaboración propia

En el *Segmento 2* (Figura 37) el estacionamiento va a reconocer cada número de palet, tomando la primera línea del segmento como ejemplo podemos ver que una vez que la variable “NÚMERO” aparezca el número 1 se va a encender tanto la flecha 1 (F1) como el palet 1 (PALET_1) siempre y cuando se presione el botón “ENTRADA” una vez que se presione “ENTRADA” el palet 1 (PALET_1) pasará a estar ocupado. Igualmente, para los demás estacionamientos.

Segmento 2:

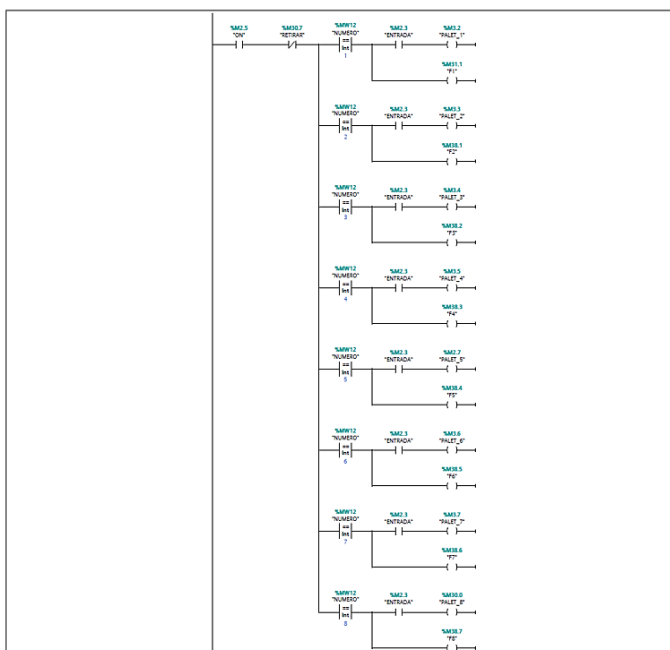


Figura 37: Segmento 2 de la automatización

Fuente: Elaboración propia

El *Segmento 3* (Figura 38) es el complemento del *Segmento 2* ya que aquí es donde aparecerá el texto de ocupado, tomando como ejemplo la primera línea del segmento observamos que cuando se activa el palet 1 (PALET_1) se enciende el ocupado (Ocupado_1) y se ancla junto con el palet 1 (PALET_1) esto debido a que si no lo anclamos se apaga y el ocupado (Ocupado_1) se va a activar. Una vez anclado el ocupado (Ocupado_1) se va a mantener siempre a si se cambie de número. Para desactivarlo vamos a utilizar un interruptor abrir/cerrar que lo llamaremos “NO_PALET_1” este interruptor lo usaremos para cuando salgan los vehículos y esté desocupado. Los demás estacionamientos siguen la misma lógica en el *Segmento 3*.

Segmento 3:

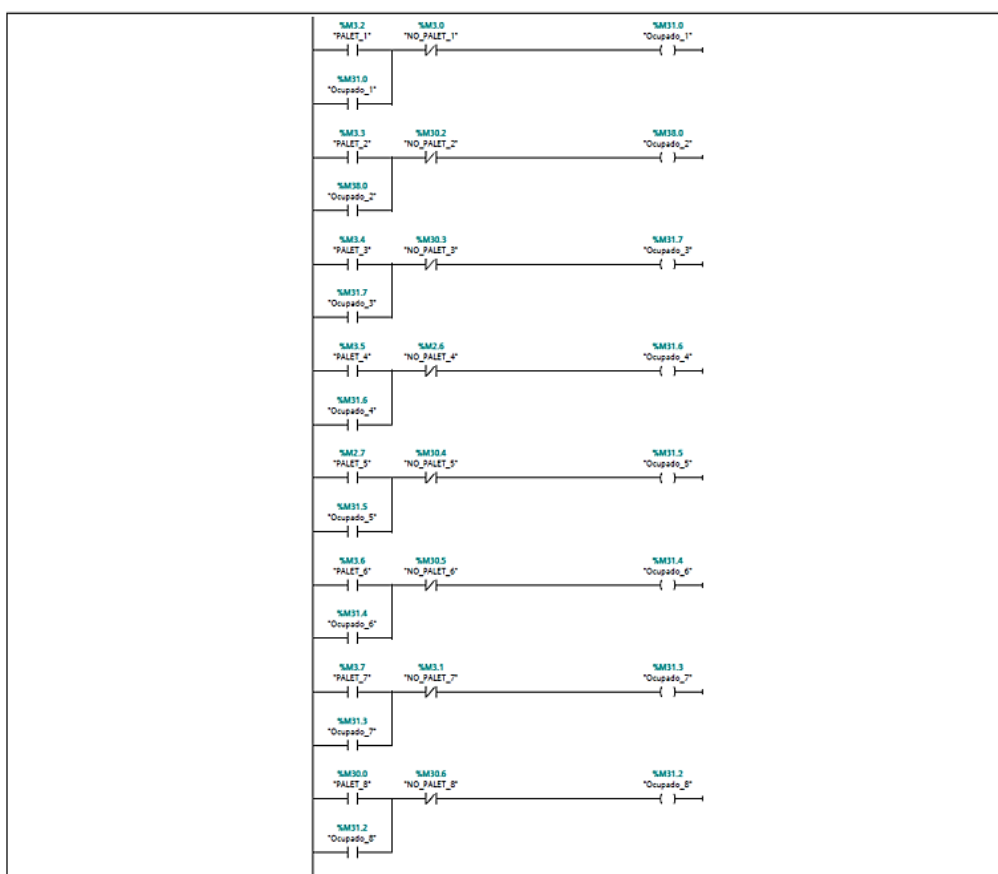


Figura 38: Segmento 3 de la automatización

Fuente: Elaboración propia

En el *Segmento 4* (Figura 39) observamos cómo retirar el vehículo con ayuda de los interruptores abrir/cerrar llamados “NO_PALET”, en la primera línea de este segmento podemos ver ya la salida de los vehículos del estacionamiento mediante el botón “SALIDA”, una vez presionado ese botón se activará un botón

llamado “RETIRAR” y se va a anclar al botón de “SALIDA” esto nos ayuda para que al momento de retirar nuestro vehículo y se presione cualquier número en el tablero para cambiar de palet no se active y podamos retirarlo con normalidad. Una vez anclado el botón de “RETIRAR” va a activar la entrada donde seleccionaremos el palet que deseamos retirar, una vez seleccionado el palet aparecerá un botón llamado “FUERA” que al presionarlo se activara el “NO_PALET” del número seleccionado y se va a desanclar el “RETIRAR” y se va a desactivar el texto de “OCUPADO” indicando así que queda libre el estacionamiento.

Segmento 4:

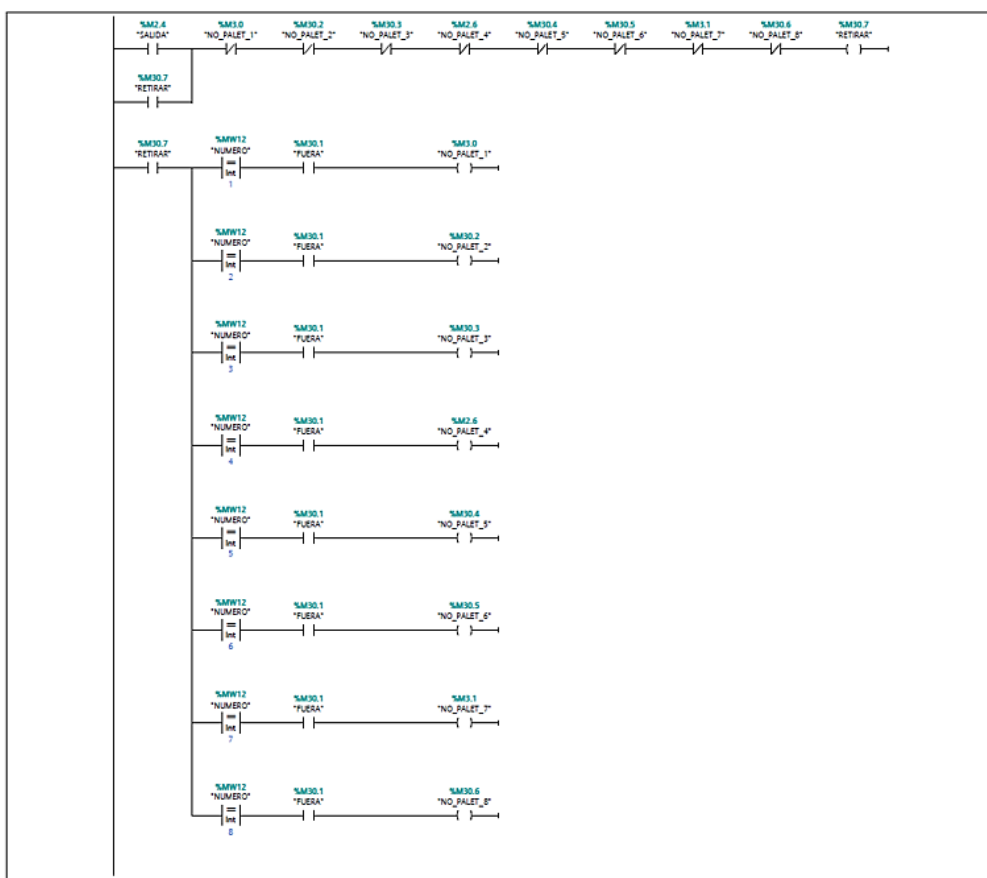


Figura 39: Segmento 4 de la automatización

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 40 se observa la pantalla dividida en 2, la parte de la izquierda es la que se proyectará en el HMI usando todas las variables (figura 41) explicadas anteriormente donde el usuario puede seleccionar el palet vacío donde aparcar su vehículo. Por la parte derecha se mostrará con un fin ilustrativo, si es que se

tuviera el sensor en físico, el reconocimiento de los palets así como también en qué palet estamos ubicados actualmente.

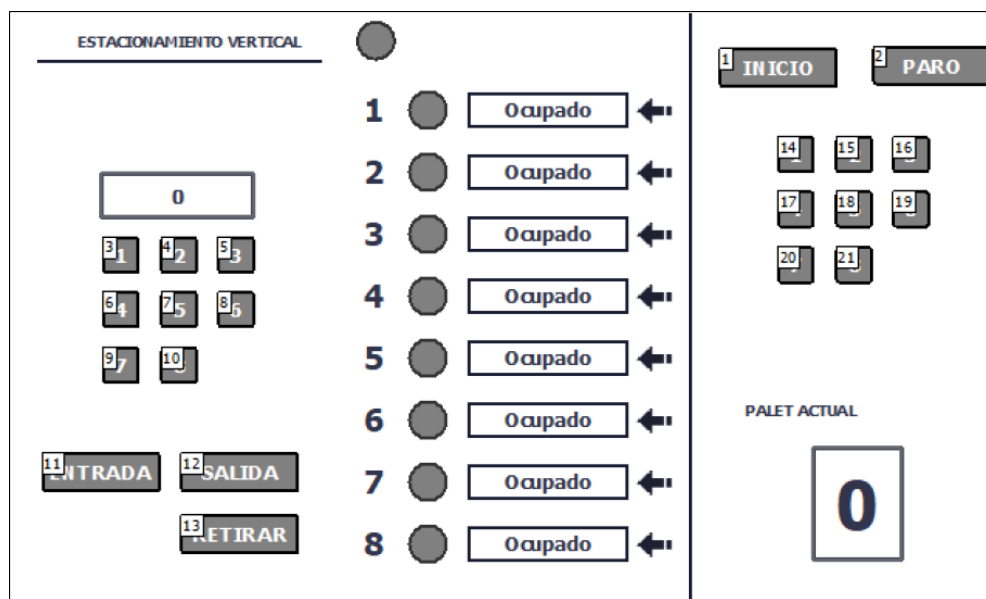


Figura 40: Pantalla HMI

Fuente: Elaboración propia

En la figura 41 se observan la tabla de variables utilizadas para la programación de la pantalla HMI.

Variables HMI					
Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Conexión	Nombre del PLC	Variable PLC
ACTUAL	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	ACTUAL
Boton_Start	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	Boton_Start
Boton_Stop	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	Boton_Stop
BUSCAR	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	BUSCAR
ENTRADA	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	ENTRADA
F1	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	F1
F2	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	F2
F3	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	F3
F4	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	F4
F5	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	F5
F6	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	F6
F7	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	F7
F8	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	F8
FUERA	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	FUERA
NUMERO	Tabla de variables estándar	Int	HM_Conexión_1	PLC_1	NUMERO
Ocupado_1	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	Ocupado_1
Ocupado_2	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	Ocupado_2
Ocupado_3	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	Ocupado_3
Ocupado_4	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	Ocupado_4
Ocupado_5	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	Ocupado_5
Ocupado_6	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	Ocupado_6
Ocupado_7	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	Ocupado_7
Ocupado_8	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	Ocupado_8
ON	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	ON
PALET_ACTUAL	Tabla de variables estándar	Int	HM_Conexión_1	PLC_1	PALET_ACTUAL
RETIRAR	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	RETIRAR
SALIDA	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_1	PLC_1	SALIDA

Figura 41: Tabla de variables

Fuente: Elaboración propia

En la figura 42 se muestra el conexionado entre el motor, equipo de protección, PLC, pantalla HMI y sensor.

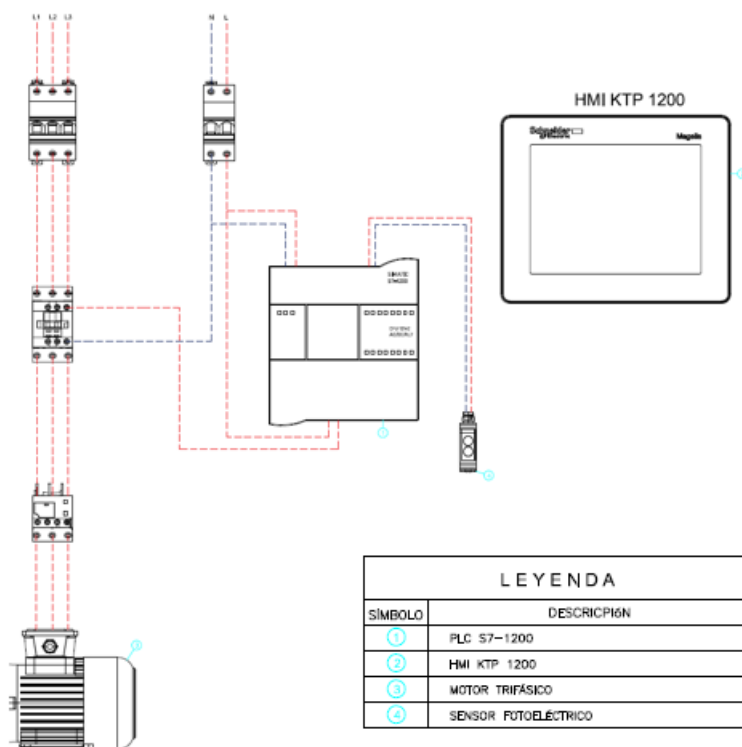


Figura 42: Conexión de la automatización

Fuente: Elaboración propia

En la figura 43 se observa la posición de todos los sensores en el estacionamiento vertical automatizado, habiendo un total de 9 sensores distribuidos en todo el estacionamiento.

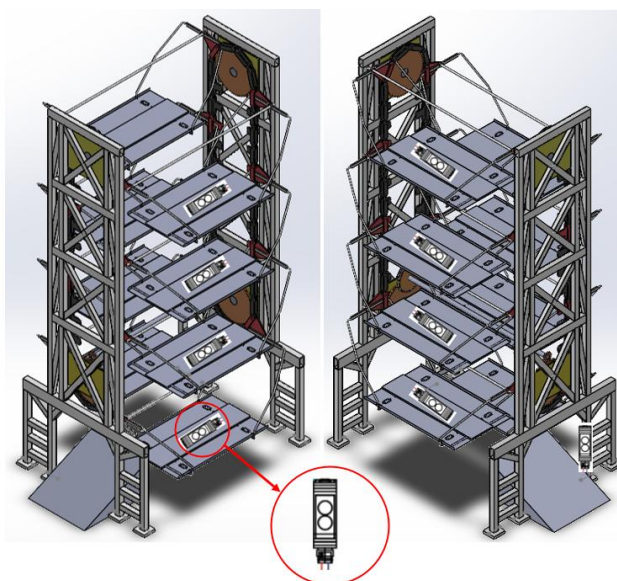


Figura 43: Ubicación de los sensores

Fuente: Elaboración propia

6.4. Análisis estático estructural del estacionamiento vertical

6.4.1. Análisis estático de la estructura principal del estacionamiento vertical

Para realizar el análisis estático estructura principal se utilizó una malla sólida como se muestra en la figura 44, tiene 16 puntos jacobianos para una malla de alta calidad, así como también, un tamaño de 351,823 mm por elemento con una tolerancia de 17,5911 mm. Cuenta con un total de 24 532 nodos y 11 849 elementos. Aplicando una fuerza de 133 345 N pero como son dos columnas se aplica una fuerza de 66 825,5 N.

Tipo de malla: Malla sólida

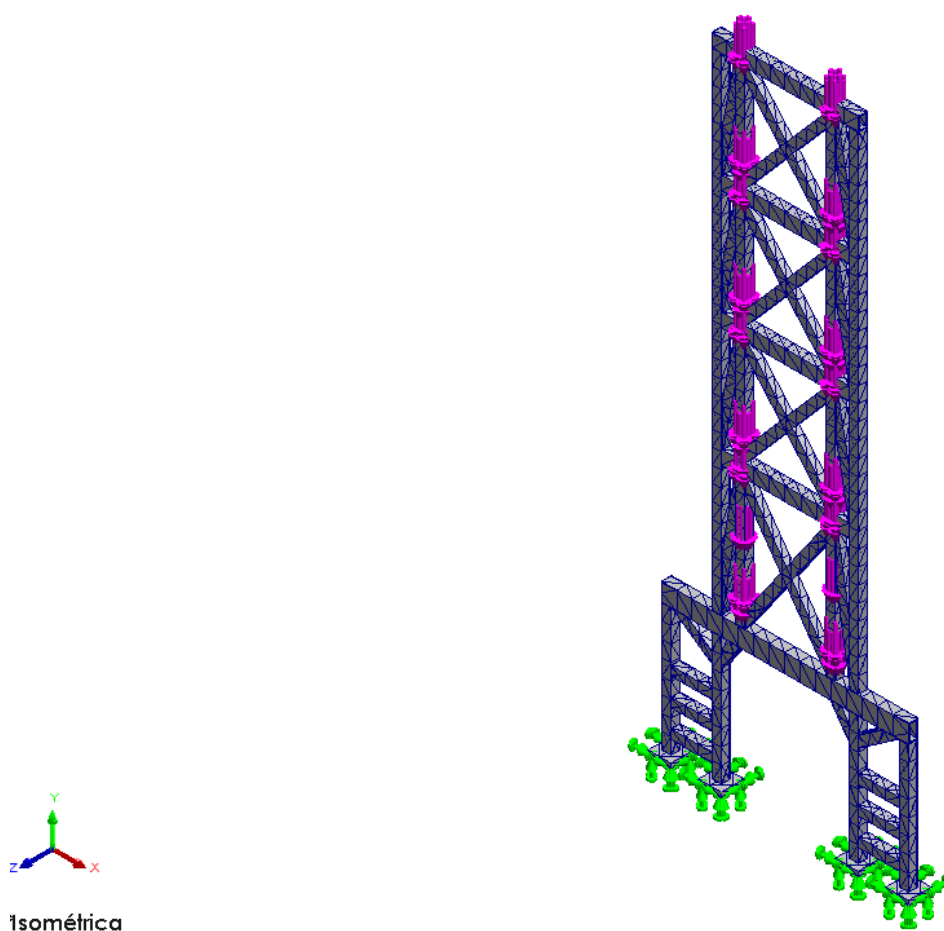


Figura 44: Estructura mallada en SolidWorks

Fuente: Elaboración propia

En la figura 45 se muestra el resultado de las tensiones de von Mises en (N/mm^2 (MPa)) obteniendo así una tensión por debajo del límite elástico del Acero ASTM 572 que es de 345,000 MPa. Dando unos resultados de tensión mínima de 0,038 MPa y una tensión máxima de 89,858 MPa, cumpliendo así con la tensión del material escogido.

Escala de deformación: 9.006,62

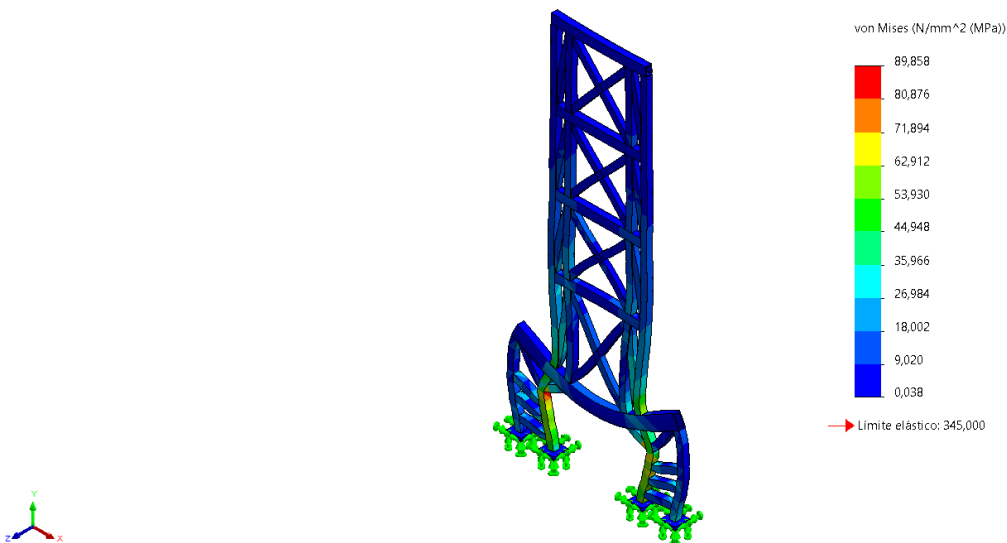


Figura 45: Tensiones von Mises en MPa de la estructura principal

Fuente: Elaboración propia

En la figura 46 se muestran las deformaciones unitarias que podría sufrir nuestra estructura principal observándose que dichas deformaciones son mínimas obteniendo así una deformación máxima de 0,000037622 y una deformación mínima de 0,000000016.

Escala de deformación: 9.006,61

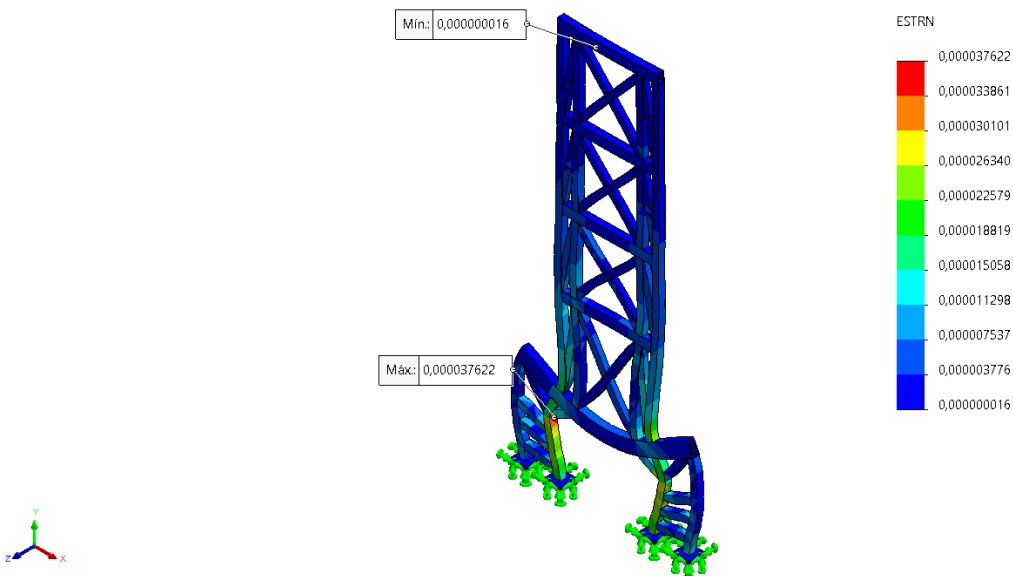


Figura 46: Deformaciones unitarias de la estructura principal

Fuente: Elaboración propia

En la figura 47 se observa el factor de seguridad de la estructura principal obteniendo un factor de seguridad de 3,5 dando a entender que la estructura puede soportar hasta 3,5 veces más la fuerza aplicada.

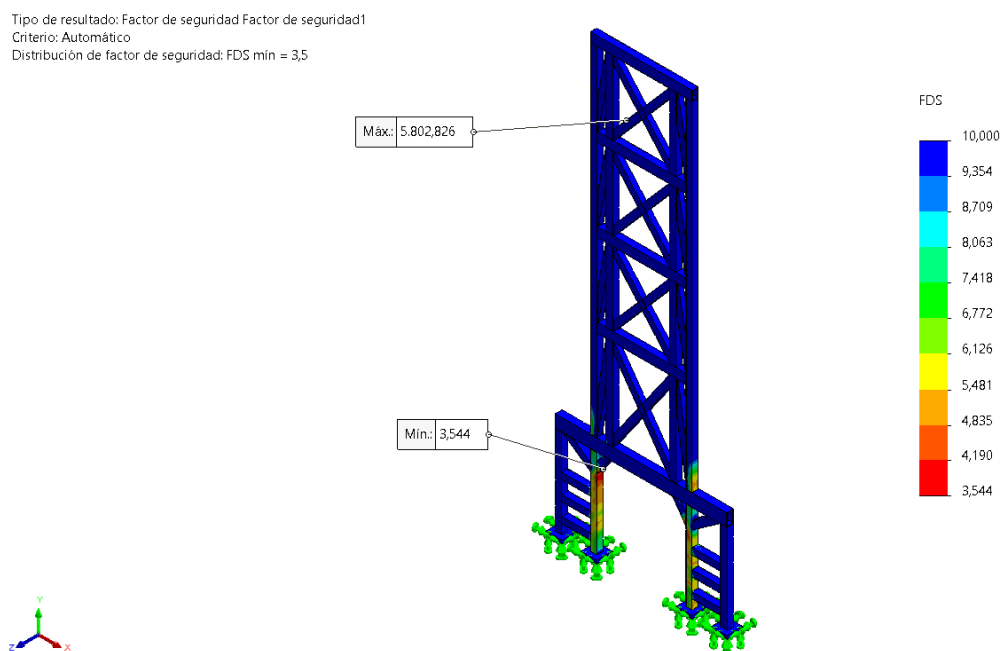


Figura 47: Factor de seguridad de la estructura principal

Fuente: Elaboración propia

6.4.2. Análisis estático de la plataforma de vehículos del estacionamiento vertical

En la figura 48 se observa la plataforma de vehículos mallada en el software SolidWorks utilizando una malla sólida con 16 puntos jacobianos con una calidad de malla de elementos cuadráticos de alto orden, un número total de nodos de 77 207 y un total de 38 429 elementos con un tamaño de elemento de 16,5255 cm.

Tipo de malla: Malla sólida

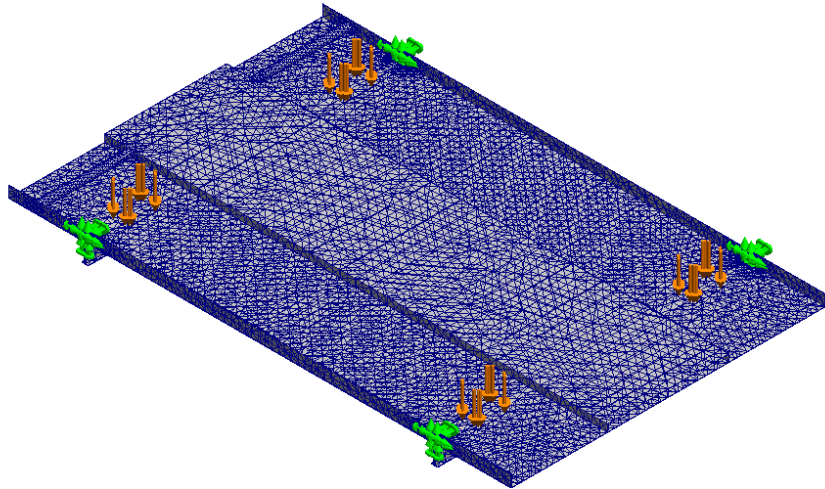


Figura 48: Plataforma de vehículos mallada en SolidWorks

Fuente: Elaboración propia

En la figura 49 se observan las tensiones von Mises de la plataforma de vehículos luego de aplicarle las fuerzas (6 130 N) de las 4 ruedas del vehículo sobre la plataforma obteniendo un resultado de tensión máxima de 134,176 MPa y una tensión mínima de 0,026 MPa cumpliendo así de no ser mayor a nuestro límite elástico del material seleccionado (ASTM A572).

Escala de deformación: 5.002,35

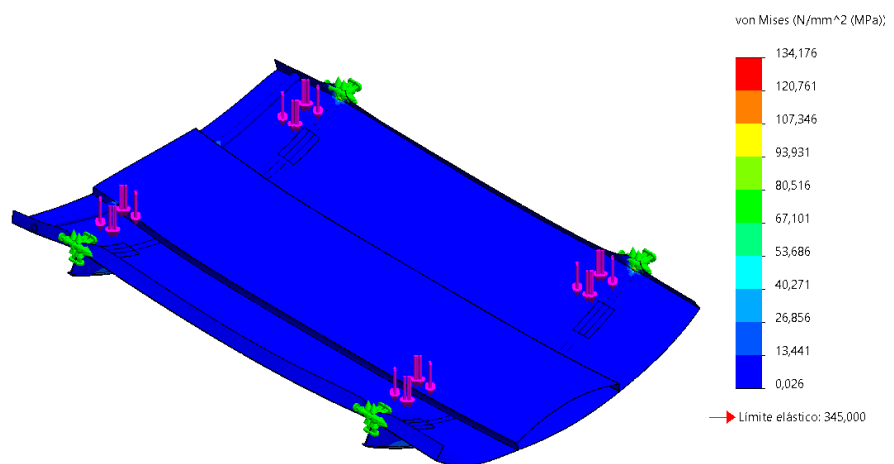


Figura 49: Tensiones von Mises en MPa de la plataforma de vehículos

Fuente: Elaboración propia

En la figura 50 se observan las deformaciones unitarias de la plataforma de vehículos obteniendo una deformación mínima de 0,0000000078 y una deformación máxima de 0,0000503381, debido a que son unas deformaciones mínimas a simple vista será imperceptible.

Escala de deformación: 5,002,35

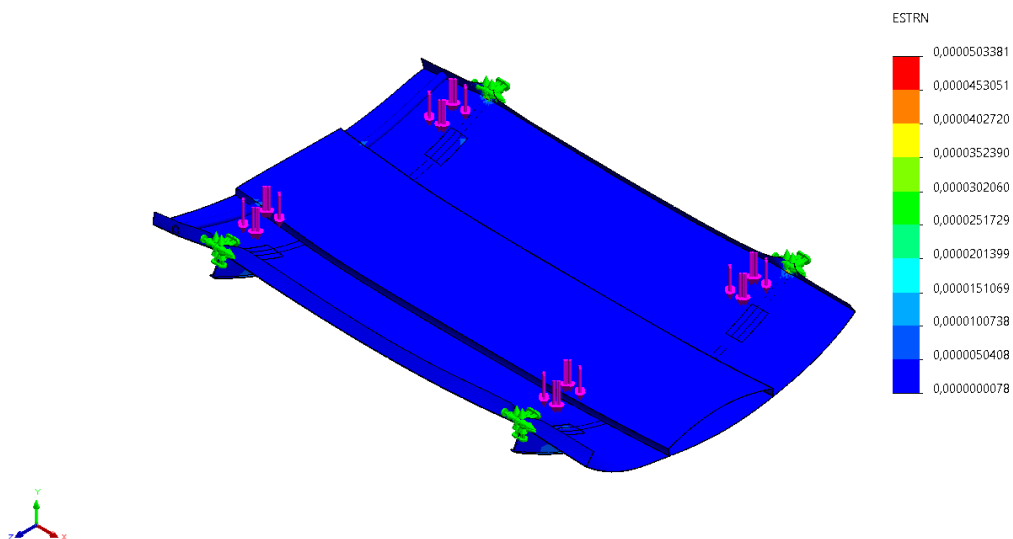


Figura 50: Deformaciones unitarias de la plataforma de vehículos

Fuente: Elaboración propia

En la figura 51 se muestra el factor de seguridad de la plataforma de vehículos obteniendo un valor mínimo de 2,6 indicando así que la plataforma puede soportar hasta 2,6 veces más las fuerzas aplicadas en la plataforma.

Distribución de factor de seguridad: FDS min = 2,6

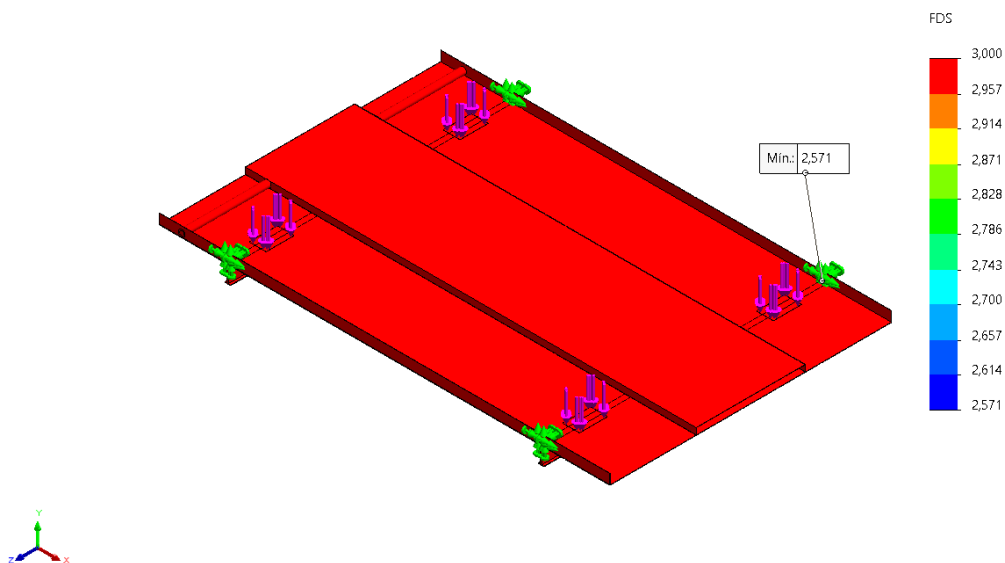


Figura 51: Factor de seguridad de la plataforma de vehículos

Fuente: Elaboración propia

6.5.Evaluación mediante estructura de costos

En las tablas 9 a la 15 se desarrollaron los costos de acuerdo al mercado actual del diseño mecánico, componentes del sistema de control, componentes del sistema de transmisión, programación del sistema de control, piezas y materiales para el diseño mecánico, fabricación y ensamblaje del diseño mecánico.

DISEÑO MECÁNICO				
Ítem	Descripción	Cantidad (glb)	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
1	Dibujo conceptual	1	S/ 150,00	S/ 150,00
2	Planos de las piezas	1	S/ 150,00	S/ 150,00
3	Análisis estático estructural	1	S/ 450,00	S/ 450,00
TOTAL				S/ 750,00

Tabla 9: Costos de diseño mecánico

Fuente: Elaboración propia

COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL				
Ítem	Descripción	Cantidad (glb)	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
1	Pantalla HMI Siemens KTP1200 Basic de 12''	1	S/ 7 061,20	S/ 7 061,20
2	PLC Simens S7-1214C AC/DC/RLY	1	S/ 1 700,00	S/ 1 700,00
3	Sensores fotoeléctricos reflexivos 1M Npn	9	S/ 675,70	S/ 6 081,30
4	Interruptores termomagnéticos industrial de 3P-63Amp	1	S/ 70,00	S/ 70
5	Caja, cables, conectores, etc.	1	S/ 450,00	S/ 450,00
TOTAL				S/ 15 362,20

Tabla 10: Costos de componentes del sistema de control

Fuente: Elaboración propia

COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN				
Ítem	Descripción	Cantidad (glb)	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
1	Cadena de transmisión industrial	1	S/ 1 685,50	S/ 1 685,50
2	Engranajes	4	S/ 2 830,20	S/ 11 320,80
3	Barra de transmisión	1	S/ 877,10	S/ 877,10
4	Motorreductor de eje paralelo 15kW	1	S/ 17 625,00	S/ 17 625,00
TOTAL				S/ 31 508,40

Tabla 11: Costos de componentes del sistema transmisión

Fuente: Elaboración propia

PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL				
Ítem	Descripción	Cantidad (glb)	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
1	Diseño de la pantalla HMI	1	S/40,00	S/40,00
2	Configuración de componentes en TIA PORTAL V15	1	S/35,00	S/35,00
3	Programación Ladder en TIA PORTAL V15	1	S/2 000,00	S/2 000,00
4	Pruebas de funcionamiento	1	S/30,00	S/30,00
5	Conexión entre los componentes	1	S/30,00	S/30,00
TOTAL				S/ 2 135,00

Tabla 12: Costos de la programación del sistema de control

Fuente: Elaboración propia

PIEZAS Y MATERIALES PARA EL DISEÑO MECÁNICO					
Ítem	Descripción	Peso (Kg)	Costo unitario (S/.)	Cantidad	Costo Total (S/.)
1	Base de la cesta para vehículos	405,75	S/ 14,70	8	S/ 47 716,20
2	Brazo de la cesta para vehículos	152,41	S/ 14,70	16	S/ 35 846,83
3	Barra de la cesta para vehículos	195,60	S/ 14,70	8	S/ 23 002,56
4	Pernos y tuercas de diámetro 0,8x1 in	-	S/ 9,00	128	S/1 152,00
5	Barra de sujeción	18,38	S/ 14,70	4	S/ 1 080,74
6	Correa para las cestas	598,40	S/ 14,70	1	S/ 11 190,08
7	Base para engranajes	696,85	S/ 14,70	2	S/ 17 592,96
8	Estructura principal	15 203,30	S/ 14,70	2	S/ 431 773,72
9	Soldadura SMAW E6010	-	S/ 13,57	180	S/ 2 442,60
10	Pintura (gal)	-	S/ 135,60	40	S/ 5 424,00
TOTAL					S/ 577 221,69

Tabla 13: Costos de las piezas y materiales para el diseño mecánico

Fuente: Elaboración propia

FABRICACIÓN Y ENSAMBLE DE PIEZAS DEL DISEÑO MECÁNICO				
Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
1	Base de la cesta para vehículos	8	S/ 1 908,65	S/ 15 269,18
2	Brazo de la cesta para vehículos	16	S/ 1 433,88	S/ 22 941,97
3	Barra de la cesta para vehículos	8	S/ 920,10	S/ 7 360,81
4	Barra de sujeción	4	S/ 43,22	S/ 172,92
5	Correa para las cestas	1	S/ 447,60	S/ 447,60
6	Base para engranajes	2	S/ 703,72	S/ 1 407,44
7	Estructura principal	2	S/ 17 270,95	S/ 34 541,89
TOTAL				S/ 82 141,83

Tabla 14: Costos de la fabricación y ensamblaje de piezas del diseño mecánico

Fuente: Elaboración propia

ESTRUCTURA DE COSTOS		
Ítem	Descripción	Costo (S/.)
1	Costos Directos	S/ 709 119,12
1.1	Materia Prima	S/ 624 092,29
1.1.1	Piezas y materiales para el diseño mecánico	S/ 577 221,69
1.1.2	Componentes del sistema de control	S/ 15 362,20
1.1.3	Componentes del sistema de transmisión	S/ 31 508,40
1.2.	Mano de Obra	S/ 85 026,83
1.2.1	Diseño mecánico	S/ 750,00
1.2.2	Programación del sistema de control	S/ 2 135,00
1.2.3	Fabricación y ensamblaje de piezas del diseño mecánico	S/ 82 141,83
2	Costos indirectos	S/ 49 638,33
2.1	Transporte de piezas y componentes (4%)	S/ 28 364,76
2.2	Servicios generales (3%)	S/ 21 273,57
TOTAL		S/ 758 757,45

Tabla 15: Estructura de costos del estacionamiento vertical

Fuente: Elaboración propia

VII. DISCUSIONES:

- ✓ En la investigación de Bernabé M, Percy para el diagnóstico se utilizó una herramienta metodológica que es la observación permitiendo identificar así la cantidad de espacios de estacionamiento, así como también, las horas donde se encuentran al 100% concordando así con la misma metodología para el diagnóstico que esta investigación. [20]
- ✓ Para el diseño conceptual en la investigación de Avendaño V, Ricardo no se siguió una metodología para la selección de material y componentes a comparación de esta tesis donde se usó la matriz morfológica como

metodología para el diseño y estudio de propiedades para la selección del material. [19]

- ✓ Para el diseño electromecánico en la investigación de Calle y Vargas obtienen resultados de la potencia del motor siendo esta de 22 hp, mientras que en esta investigación la potencia calculada del motor fue de 20 hp. La diferencia de 2 hp, aunque aparentemente pequeña, destaca la importancia de las condiciones y suposiciones específicas de cada estudio. [21]
- ✓ La diferencia en los costos del estacionamiento vertical entre la investigación de Estupiñán y Fuentes (S/1 077 975,39) y nuestra investigación (S/745 963,26) destaca la influencia de múltiples factores, desde las metodologías de cálculo hasta las especificaciones del proyecto.

VIII. CONCLUSIONES:

- ✓ Se llegó a la conclusión que al diagnosticar la situación actual de la zona de parqueo de la universidad hay insuficiencia de espacios disponibles, evidenciado especialmente en horas pico entre las 7:00 am-10:00 am, 12:00 pm-4:00 pm, 6:00 pm-7:00 pm teniendo la mayor parte del día entre el 90% y 100% de espacios llenos.
- ✓ Se logró realizar el diseño conceptual del estacionamiento vertical identificando componentes esenciales mediante la matriz morfológica y sus parámetros para su diseño.
- ✓ Se logró diseñar electromecánicamente el estacionamiento vertical llevando a cabo cálculos para algunas características estructurales adecuadas como por ejemplo los engranajes, cadena de transmisión, interruptores termomagnéticos, potencia del motor. También, se seleccionaron los componentes eléctricos adecuados para el estacionamiento. Asimismo, se desarrolló la automatización del estacionamiento vertical asegurando una fácil funcionalidad para que el usuario pueda manejarlo.
- ✓ Se logró analizar las partes principales del estacionamiento vertical automatizado cumpliendo con un rango de factor de seguridad mayor a 2,5.
- ✓ Se logró realizar la estructura de costos del estacionamiento vertical automatizado permitiendo identificar los componentes y materiales más económicos llegando a un monto de S/ 758 757,45 soles.
- ✓ Se logró incrementar la zona de parqueo a un 50% debido a que en la universidad para el estacionamiento de 4 carros se necesitan de 50 m²,

mientras que para el estacionamiento vertical de 8 vehículos se necesitan 42,33 m².

IX. RECOMENDACIONES:

- ✓ Se recomienda hacer un estudio con otros materiales y perfiles de uso industrial.
- ✓ Se recomienda realizar un estudio dinámico permitiendo obtener condiciones de velocidad, desplazamientos y vibraciones.
- ✓ Se recomienda trabajar con una inversión de giro en la automatización.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

[1] “¿Problemas de estacionamiento? Usa multiplicadores de espacio – RIDERS SAC”. RIDERS SAC. Accedido el 12 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/WliEbg>

[2] J. Corredor, D. Cely. “Implementación de sistemas de estacionamiento vertical rotatorio en la zona centro y centro oriente de Bogotá”, 2019. Accedido el 12 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/zOzMA16>

[3] “Soluciones para multiplicar los espacios de estacionamiento”. Riders SAC. Accedido el 12 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/xztM>

[4] “Venta de Vehículos Nuevos en Países de la Región | Asociación Automotriz del Perú”. Asociación Automotriz del Perú. Accedido el 12 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/4MDFGk5>

[5] “Estacionamientos Verticales”. calameo.com. Accedido el 12 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/bbPoBFS>

[6] “State of New Jersey”. The Official Web Site for The State of New Jersey. Accedido el 12 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.nj.gov/oag/newsreleases08/pr20080710a-esp.html>

[7] “El mundo no sabe dónde aparcar su auto - BBC News Mundo”. BBC News Mundo. Accedido el 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/nfKVFm1>

- [8] “The 1932 Car Parking Machine - FAST Equipment”. FAST Equipment. Accedido el 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.fastequipment.net/blog/2016/09/1932-car-parking-machine/>
- [9] “Estacionamientos 2”. SlideShare. Accedido el 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://es.slideshare.net/slideshow/estacionamientos-2/15181752>
- [10] C. V. Calle Müller, “SISTEMAS DE ESTACIONAMIENTO”, Tesis para titulación, Pontif. Univ. Catol. Del Peru, Lima, 2014.
- [11] “Armaduras – Clases de Mecánica”. Clases de Mecánica. Accedido el 26 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://clasesdemecanica.net/index.php/armaduras/>
- [12] A. L. Farina. “Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento”. Editores | Los medios de comunicación técnica más claros y seguros. Accedido el 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/pOcVmf>
- [13] “¿Cómo conectar HMI con PLC?” SDI. Accedido el 22 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://sdindustrial.com.mx/blog/como-conectar-hmi-con-plc/#¿Que-es-un-PLC>
- [14] “Cómo funciona un motor eléctrico: tipos y partes”. aula21 | Formación para la Industria. Accedido el 21 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.cursosaula21.com/como-funciona-un-motor-electrico/#:~:text=La%20idea%20básica%20de%20un,una%20máquina%20de%20algún%20tipo.>
- [15] Punzenberger. “¿Qué significa HMI? Interfaz humano-máquina”. Automatisierungs- & Industriesoftware | zenon COPA-DATA. Accedido el 22 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/ermHR>

[16] “Motores monofásicos, bifásicos y trifásicos: todo lo que necesitas saber - Blog CLR”. Blog CLR - Engineering Your Actioning Ideas. Accedido el 21 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://clr.es/blog/es/motores-monofasicos-bifasicos-trifasicos/>

[17] Estupiñan Vásquez, C. D. y Puentes Elorza, M. (2020) Diseño de un sistema de parqueo vertical tipo carrusel, para la Fundación Universidad de América sede Campus los Cerros [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7899>

[18] R. D. Avendaño Virreira, “Estacionamiento vertical rotatorio”, Tesis para titulación, Univ. Nac. Cordoba, Córdoba, 2019.

[19] P. M. Bernabé Mendoza, “Diseño de un sistema de estacionamiento con capacidad para diez unidades vehiculares tipo M-1 para el centro histórico de la Ciudad de Chimbote – 2018”, Tesis para titulación, Univ. Cesar Vallejo, Trujillo, 2018.

[20] L. F. Calle Oré, M.L. Vargas Zuni “Diseño automático de estacionamiento vertical rotativo con capacidad para 10 vehículos SUV utilizando energía solar para el Sistema de Control, ubicado en la ciudad de Arequipa”, Tesis para titulación, Univ. Catol. St. Maria, Arequipa, 2021.

[21] Diseño en ingeniería mecánica de Shigley - 9. edición. McGraw-Hill Educ., 2012.

[22] “Motorreductor”. SEW-EURODRIVE. Accedido el 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/QzHoSuB>

[23] Esteban. “TIA PORTAL V15”. INGELEARN. Accedido el 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/Qds4qTr>

[24] “Sensores Fotoeléctricos Autoreflex”. Industrias Asociadas. Accedido el 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/dk5L>

[25] “Las cadenas de transmisión”. Epidor. Accedido el 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/I6HwO>

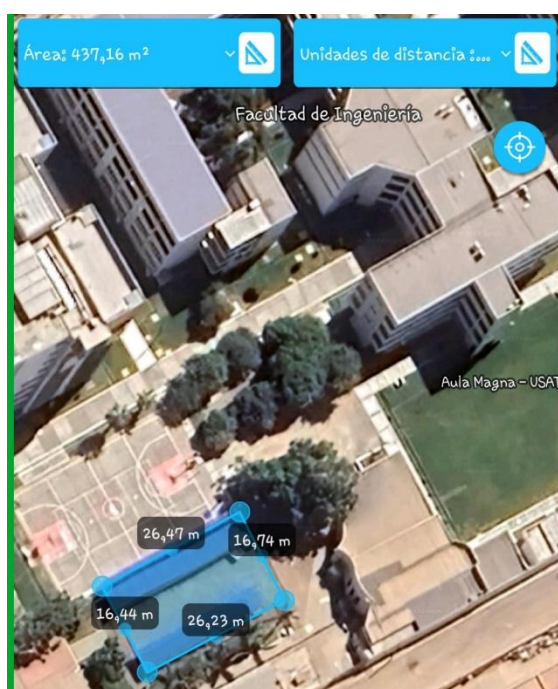
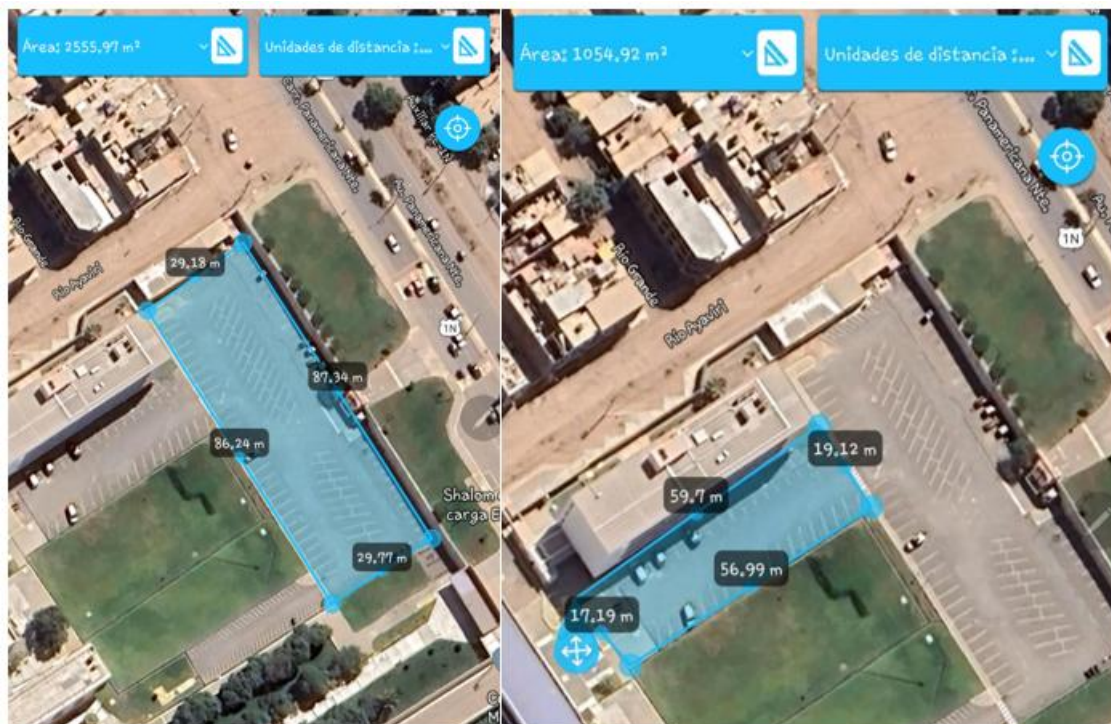
XI. ANEXOS:

Cantidad de vehículos de la zona norte (Unidades)				
AÑO	TUMBES	PIURA	LAMBAYEQUE	LA LIBERTAD
2013	3320	46029	58142	172968
2014	3372	49576	61896	178433
2015	3415	52390	65160	183931
2016	3451	55060	68261	190073
2017	3423	57740	71328	196040
2018	3375	60006	74092	202558
2019	3313	62419	76586	208882
2020	3246	64836	78677	213166
2021	3181	69457	82789	223529

Anexo 1: Cantidad de vehículos de la zona norte

Incremento de vehículos respecto al año anterior				
AÑO	TUMBES	PIURA	LAMBAYEQUE	LA LIBERTAD
2014	52	3547	3754	5465
2015	43	2814	3264	5498
2016	36	2670	3101	6142
2017	-28	2680	3067	5967
2018	-48	2266	2764	6518
2019	-62	2413	2494	6324
2020	-67	2417	2091	4284
2021	-65	4621	4112	10363
Promedio	-17.375	2928.5	3080.875	6320.125

Anexo 2: Incremento de vehículos respecto al año anterior



Anexo 3: Área de estacionamiento de la universidad

PORCENTAJE DE ESPACIOS LLENOS DE LA UNIVERSIDAD							
TURNO	HORARIO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
MAÑANA	7:00-8:00	100%	90%	100%	93%	100%	50%
	8:00-9:00	95%	92%	97%	90%	100%	50%
	9:00-10:00	95%	90%	88%	88%	90%	55%
	10:00-11:00	90%	80%	80%	80%	92%	40%
	11:00-12:00	80%	75%	93%	70%	88%	40%
TARDE	12:00-1:00	90%	90%	80%	70%	80%	55%
	1:00-2:00	90%	75%	75%	65%	75%	52%
	2:00-3:00	93%	70%	90%	65%	75%	50%
	3:00-4:00	90%	82%	85%	60%	70%	50%
	4:00-5:00	75%	88%	70%	60%	60%	50%
	5:00-6:00	70%	80%	60%	65%	60%	50%
NOCHE	6:00-7:00	80%	75%	60%	65%	50%	60%
	7:00-8:00	82%	70%	50%	60%	50%	45%
	8:00-9:00	80%	50%	50%	60%	50%	40%
	9:00-10:00	50%	40%	50%	50%	45%	40%

Anexo 4: Porcentaje de cantidad de estacionamientos en la universidad

Materiales para los estructura

1. Acero normalizado AISI 4340		
Modulo de young	210	Gpa
Limite de fluencia	250	MPa
Densidad	7840	Kg/cm ³
Expansión Termica	0.000024	/ K
Conductividad Termica	44.5	W / m.K

2. Acero ASTM A36		
Modulo de Young	200	Gpa
Limite de fluencia	250	MPa
Densidad	7900	Kg/cm ³
Expansión térmica	0.0000138	/ K
Conductividad termica	93	W / m.K

3. Acero A572		
Modulo de Young	207	Gpa
Limite de fluencia	345	MPa
Densidad	7850	Kg/cm ³
Expansión térmica	0.000013	/ K
Conductividad termica	47	W / m.K

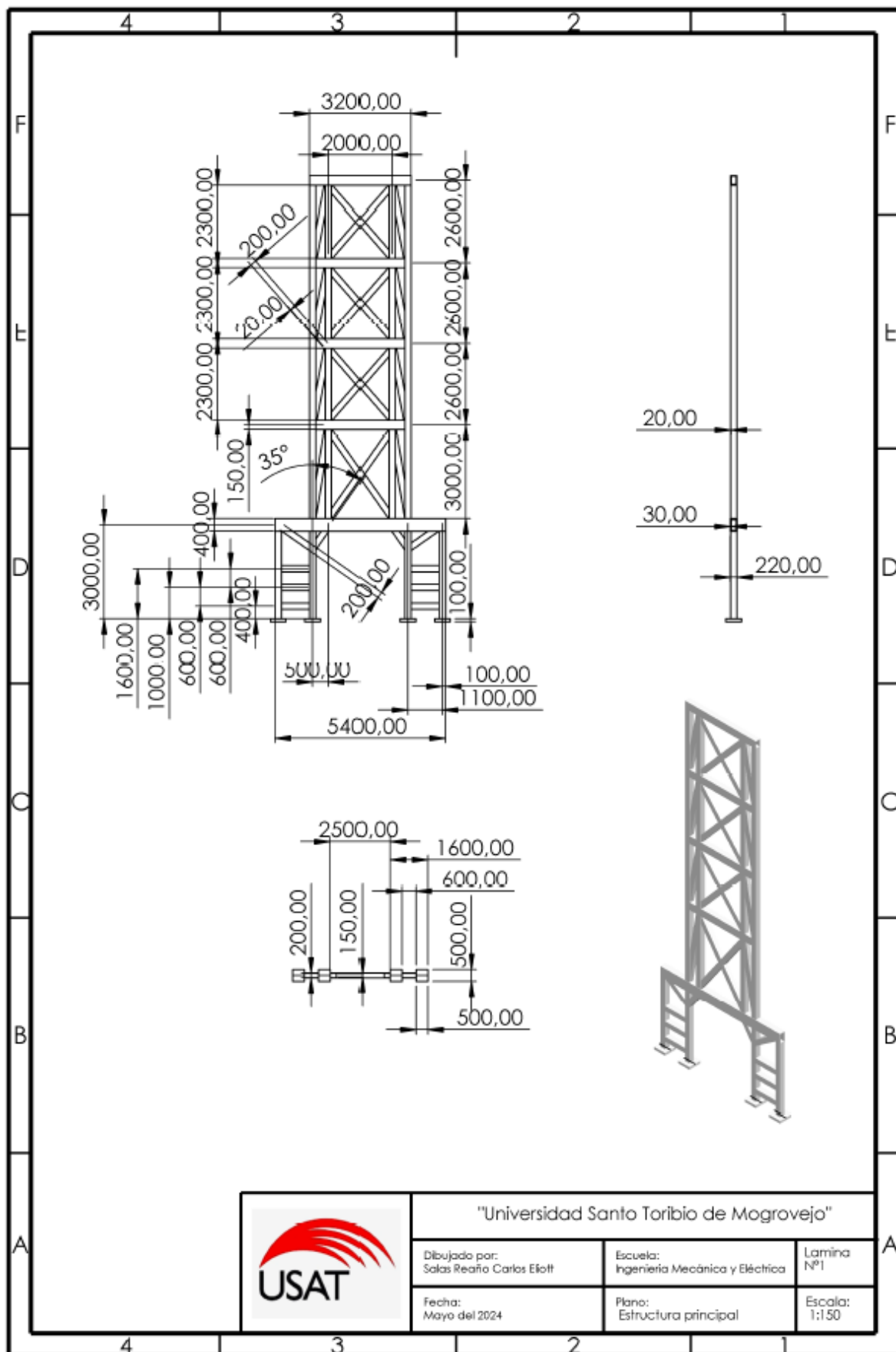
Anexo 5: Propiedades de los materiales

Material de referencia		
Modulo de Elasticidad	200	Gpa
Limite de fluencia	300	MPa
Densidad	4000	Kg/cm ³
Expansión Termica	0.000007	/ K
Conductividad Termica	150	W / m.K

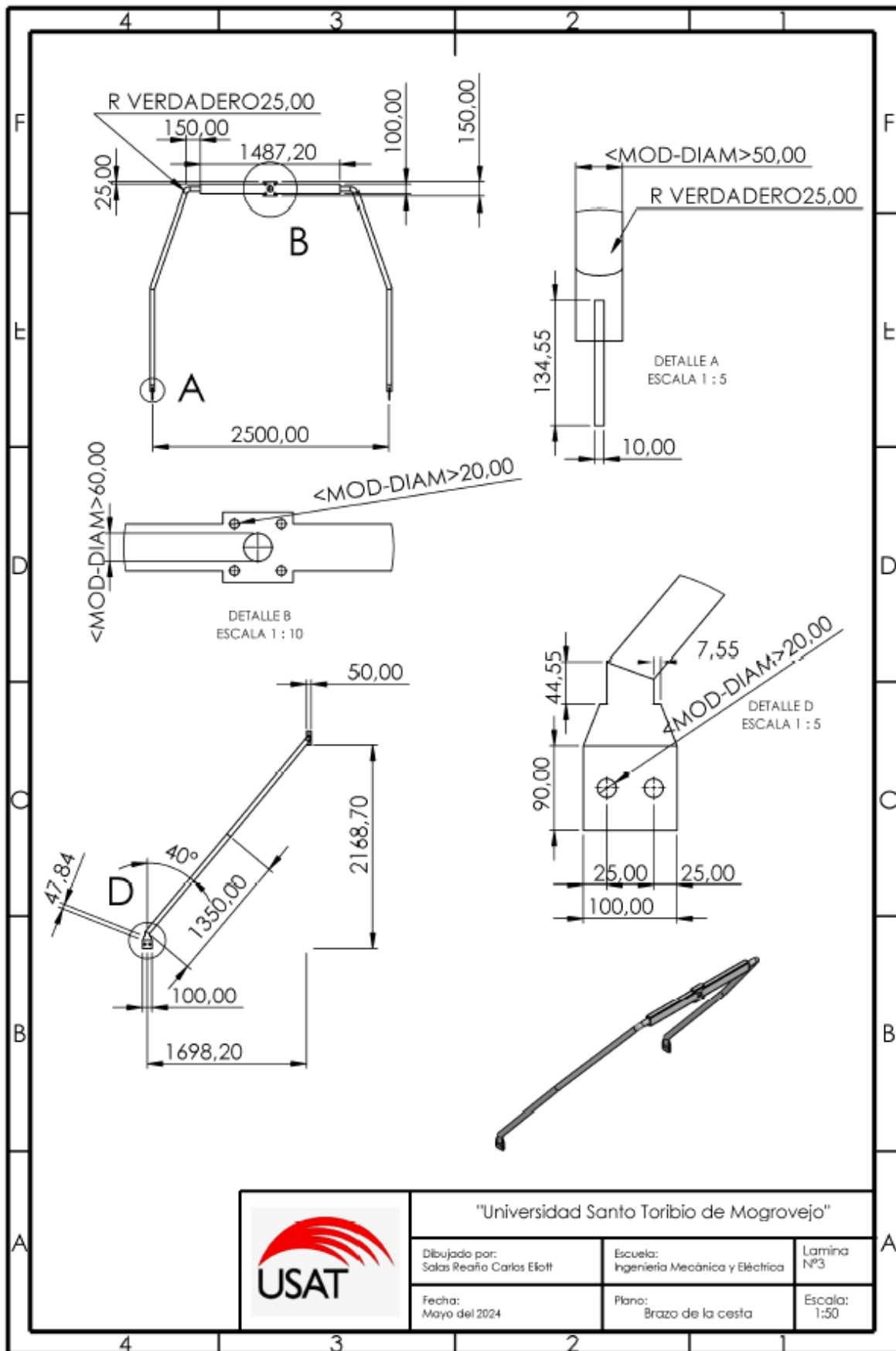
Anexo 6: Propiedades del material de referencia

- ❑ Para reducir el riesgo de fluencia: elegir alto: Y
- ❑ Para evitar deformaciones por propio peso, elegir alto: $\frac{E}{\rho}$
- ❑ Para frecuencias naturales altas, elegir alto: $\frac{E}{\rho}$
- ❑ Para expansiones pequeñas, elegir alto: k/α

Anexo 7: Criterios para la selección de material

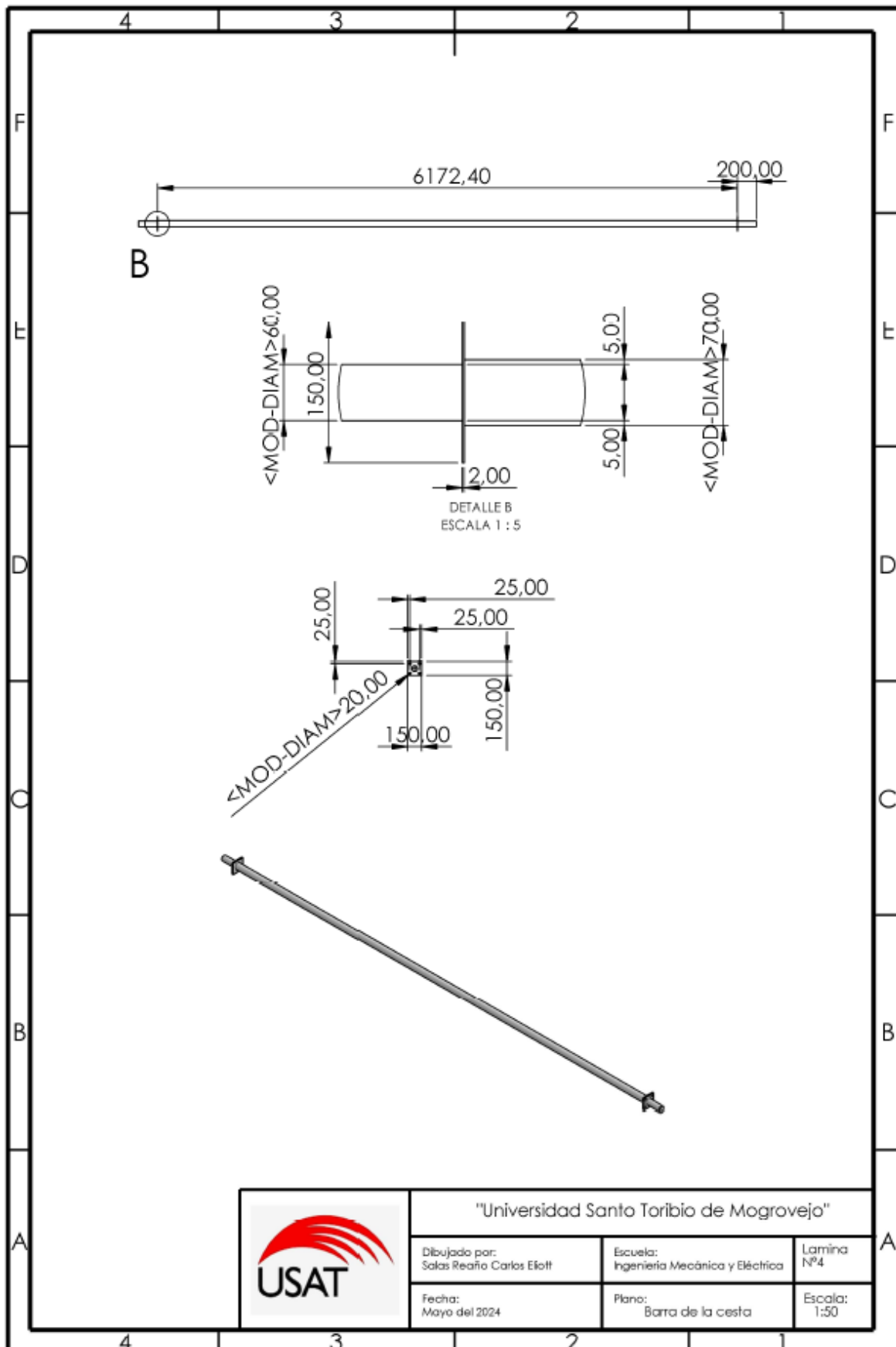


Anexo 8: Plano de la estructura principal

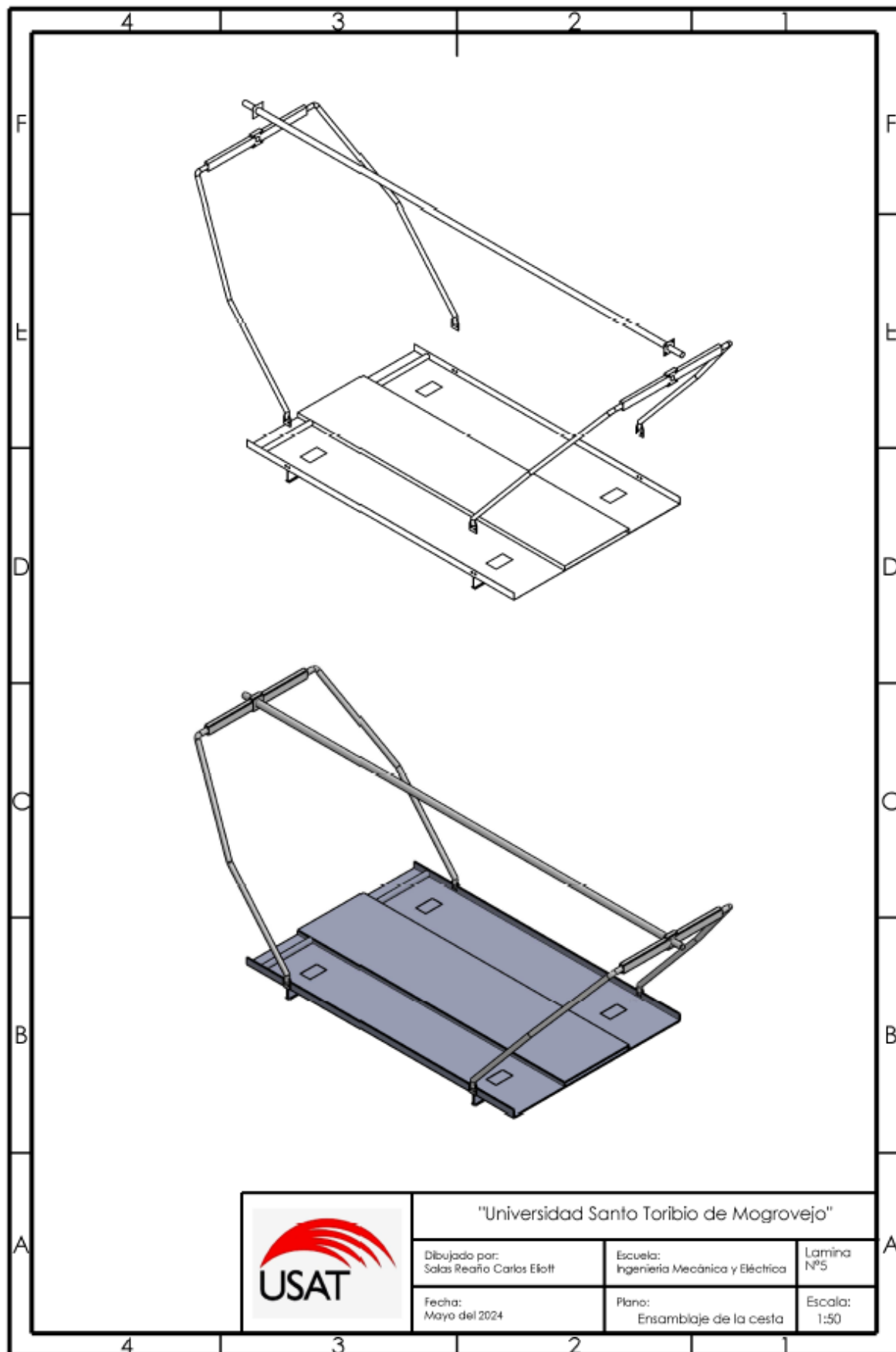


	"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"		
	Dibujado por: Salas Reaño Carlos Eliott	Escuela: Ingeniería Mecánica y Eléctrica	Lamina Nº3
	Fecha: Mayo del 2024	Plano: Brazo de la cesta	Escala: 1:50

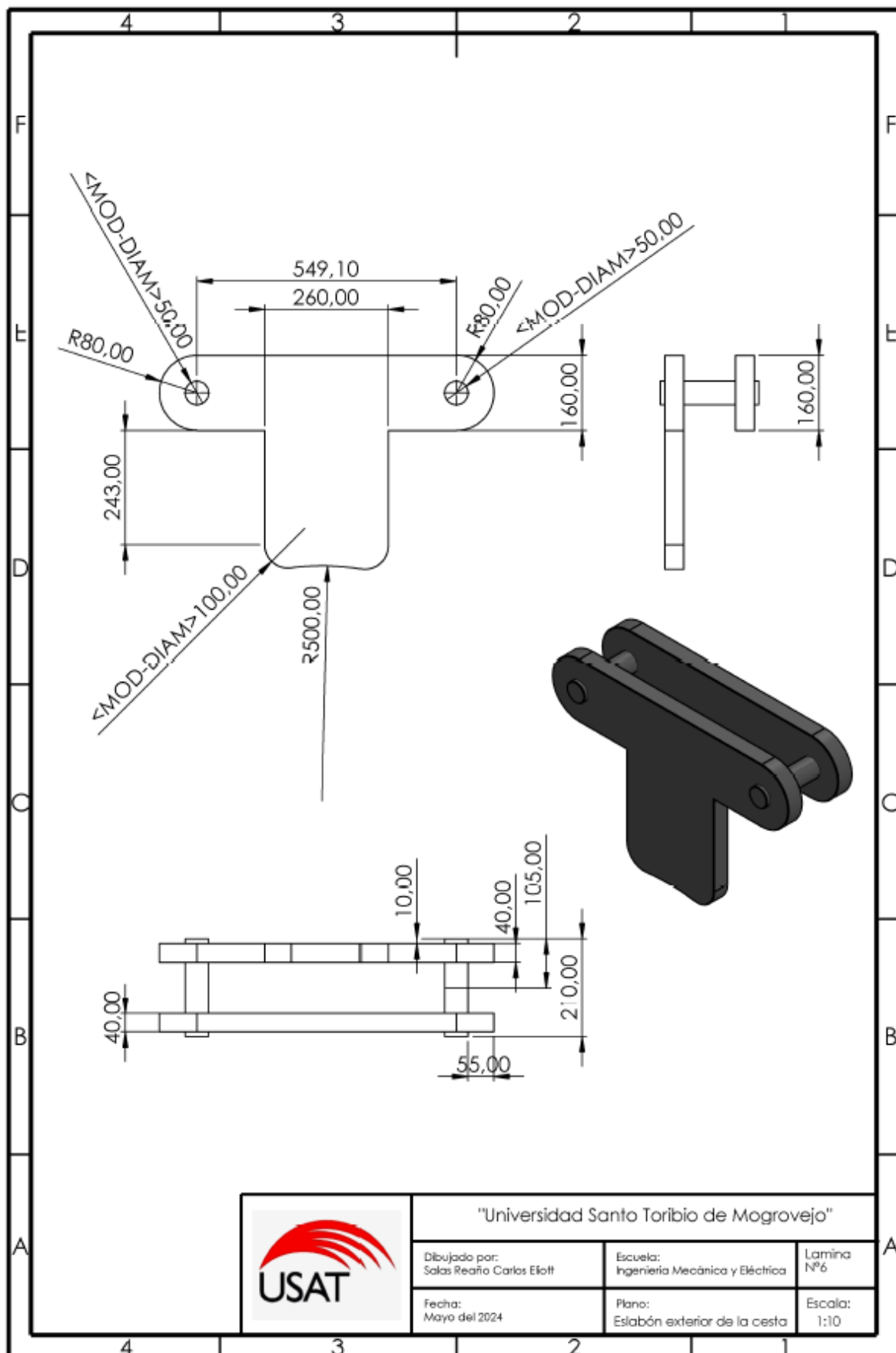
Anexo 10: Plano del brazo de la cesta



Anexo 11: Plano de la barra de la cesta

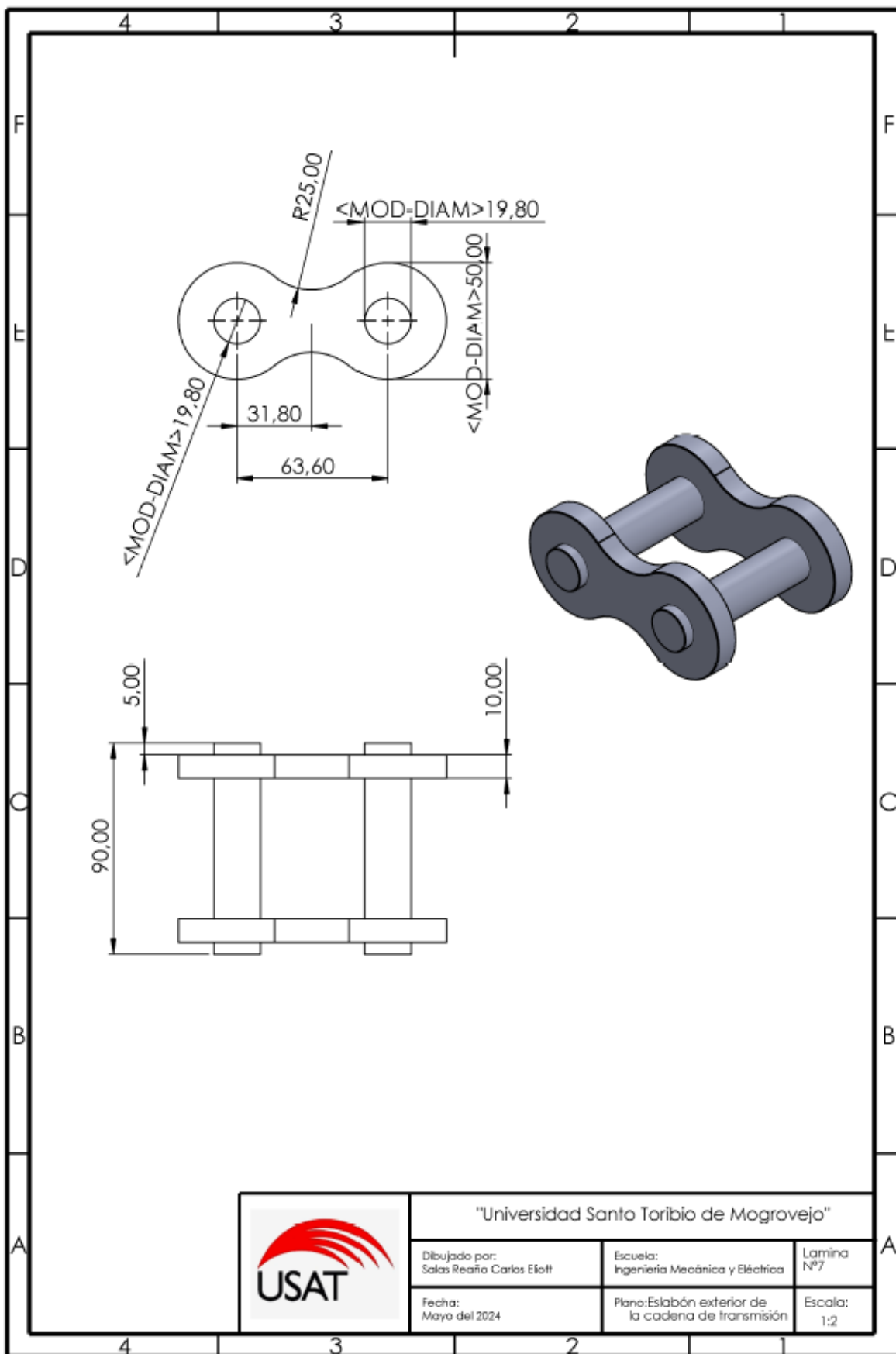


Anexo 12: Plano del ensamble de la cesta



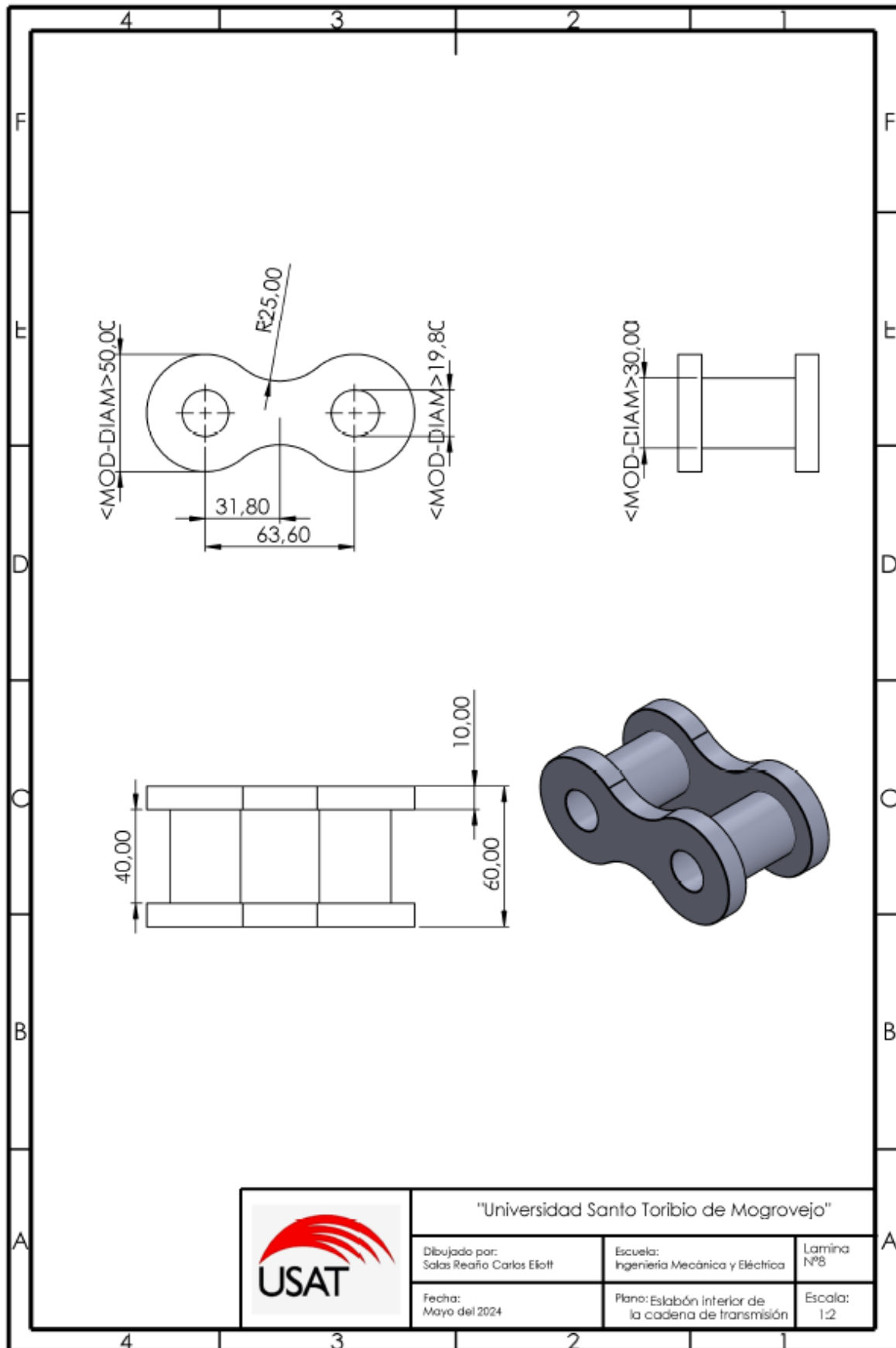
	"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"		
	Dibujado por: Salas Reaño Carlos Eliott	Escuela: Ingeniería Mecánica y Eléctrica	Lamina Nº6
	Fecha: Mayo del 2024	Plano: Eslabón exterior de la cesta	Escala: 1:10

Anexo 13: Plano del eslabón exterior de la cesta

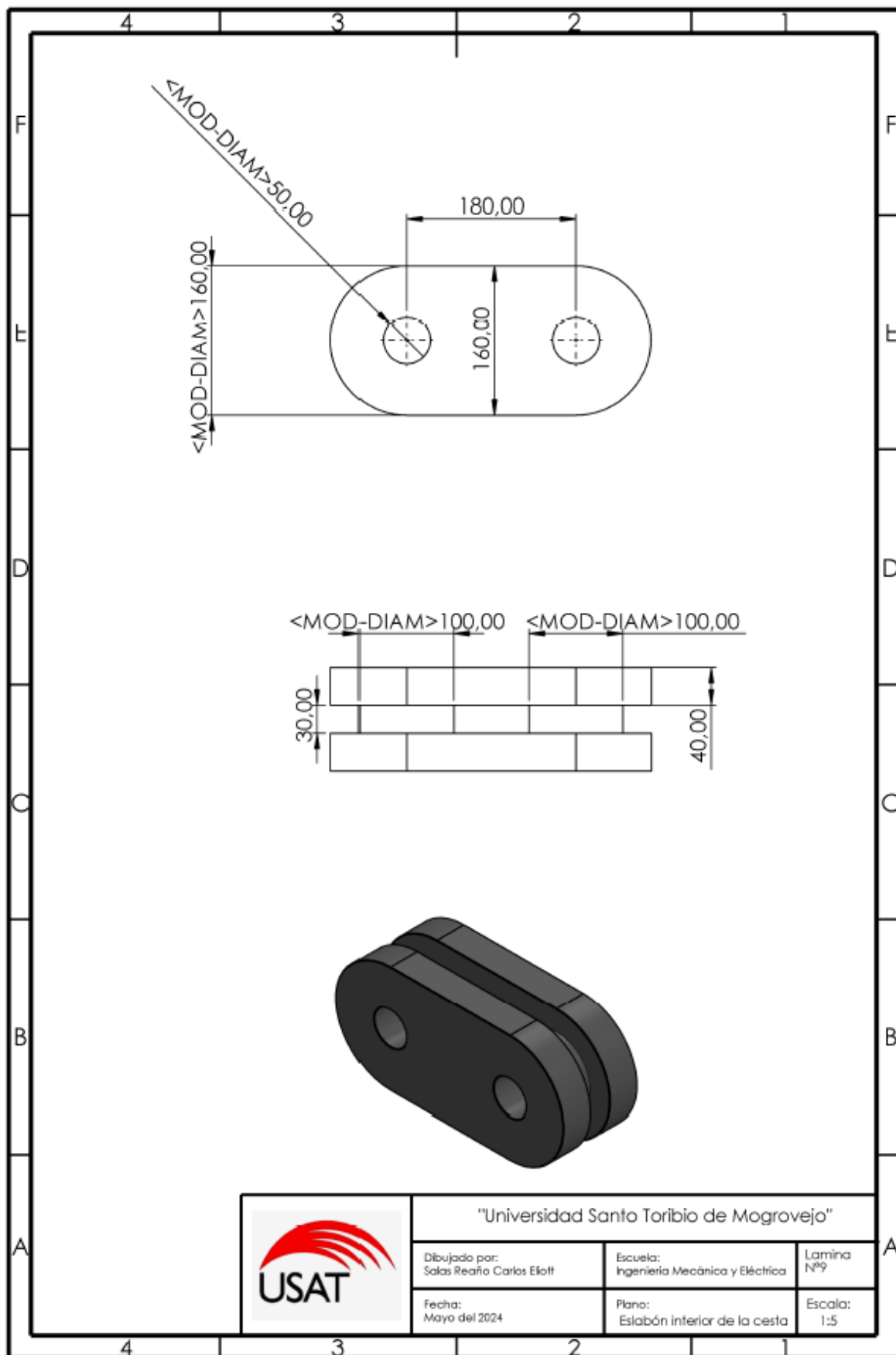


Anexo 14: Plano del eslabón exterior de la cadena de transmisión

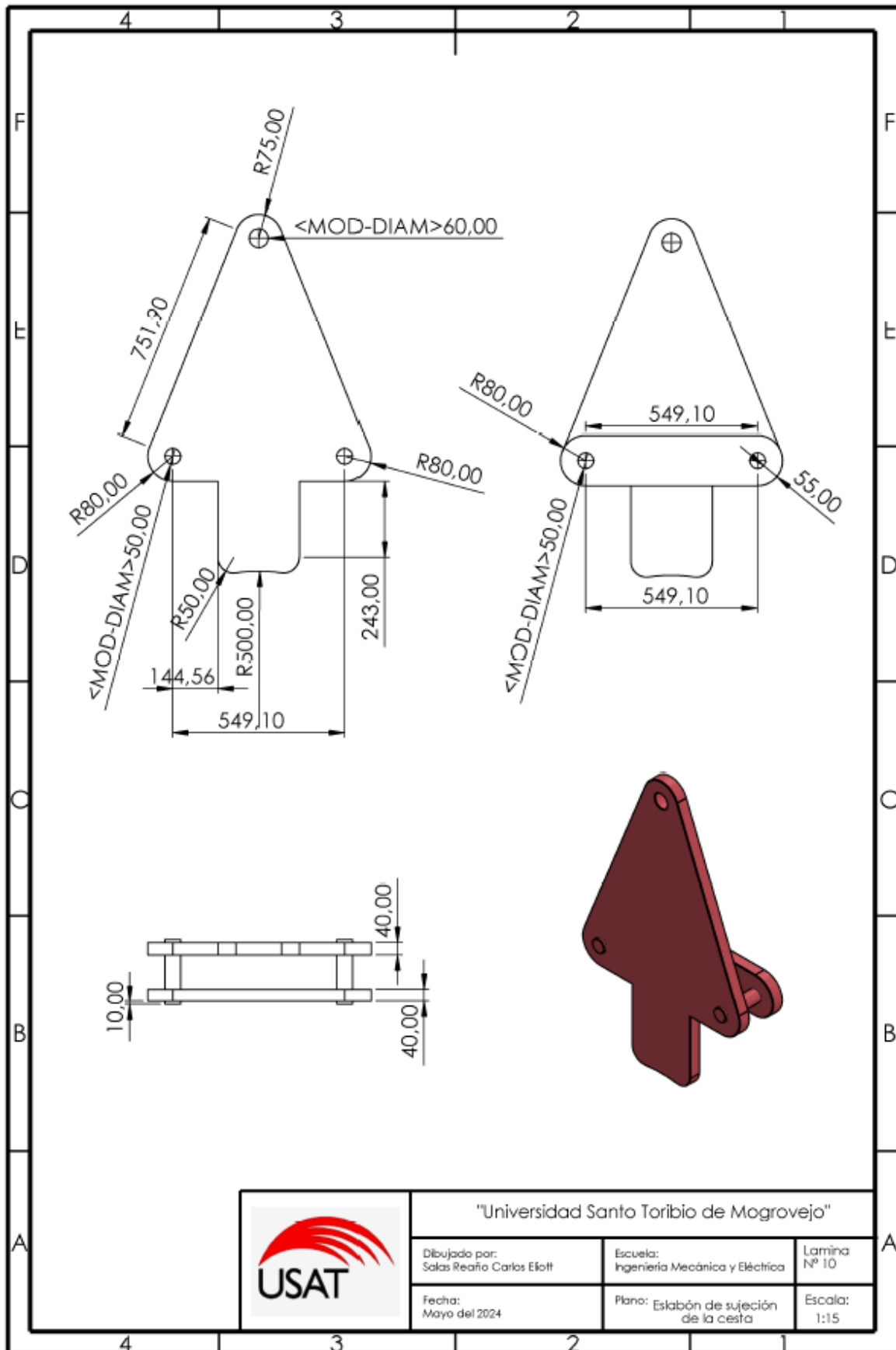
	"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"		
	Dibujado por: Salas Reaño Carlos Elíot	Escuela: Ingeniería Mecánica y Eléctrica	Lamina Nº7
	Fecha: Mayo del 2024	Plano: Eslabón exterior de la cadena de transmisión	Escala: 1:2



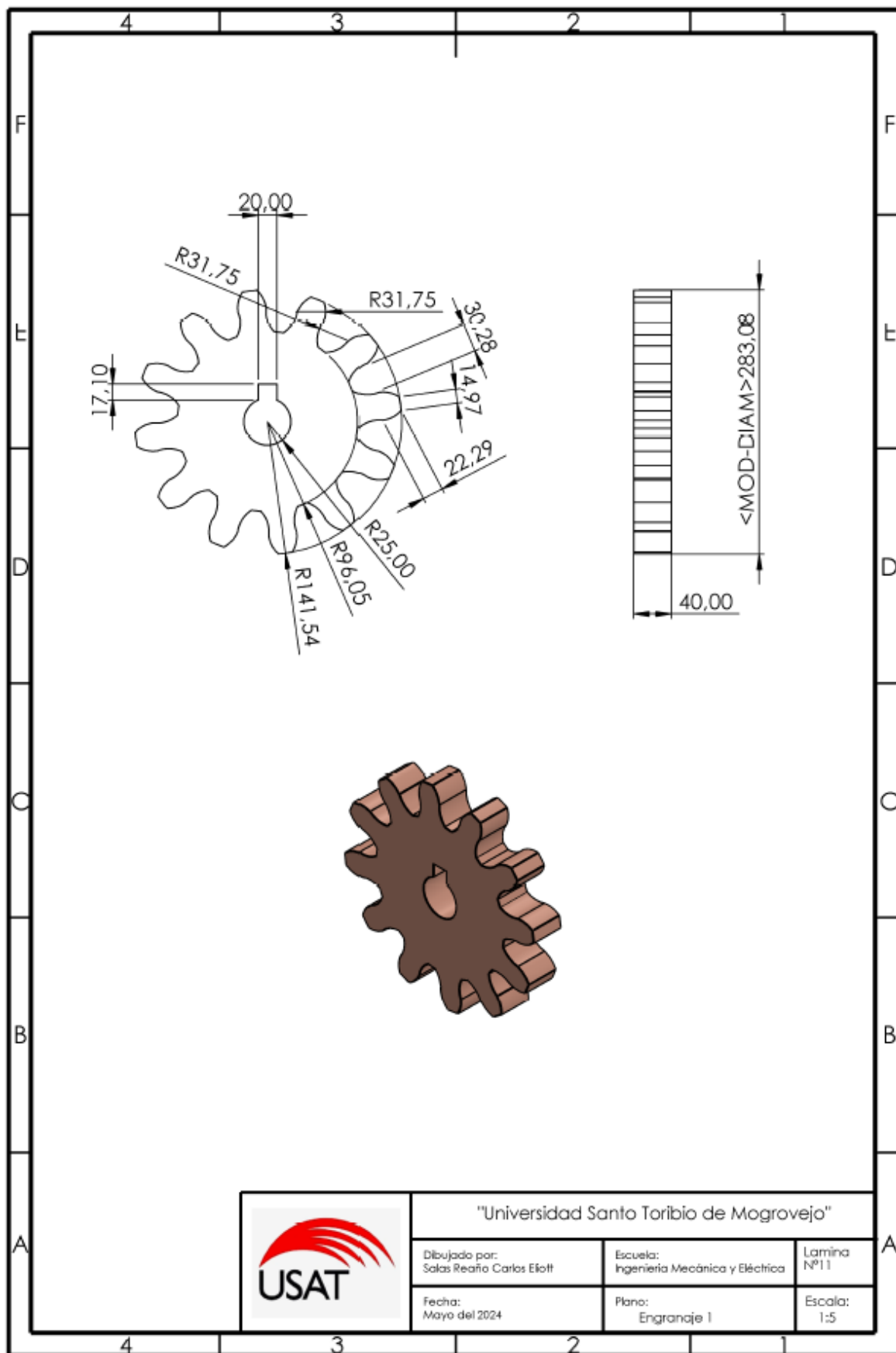
Anexo 15: Plano del eslabón interior de la cadena de transmisión



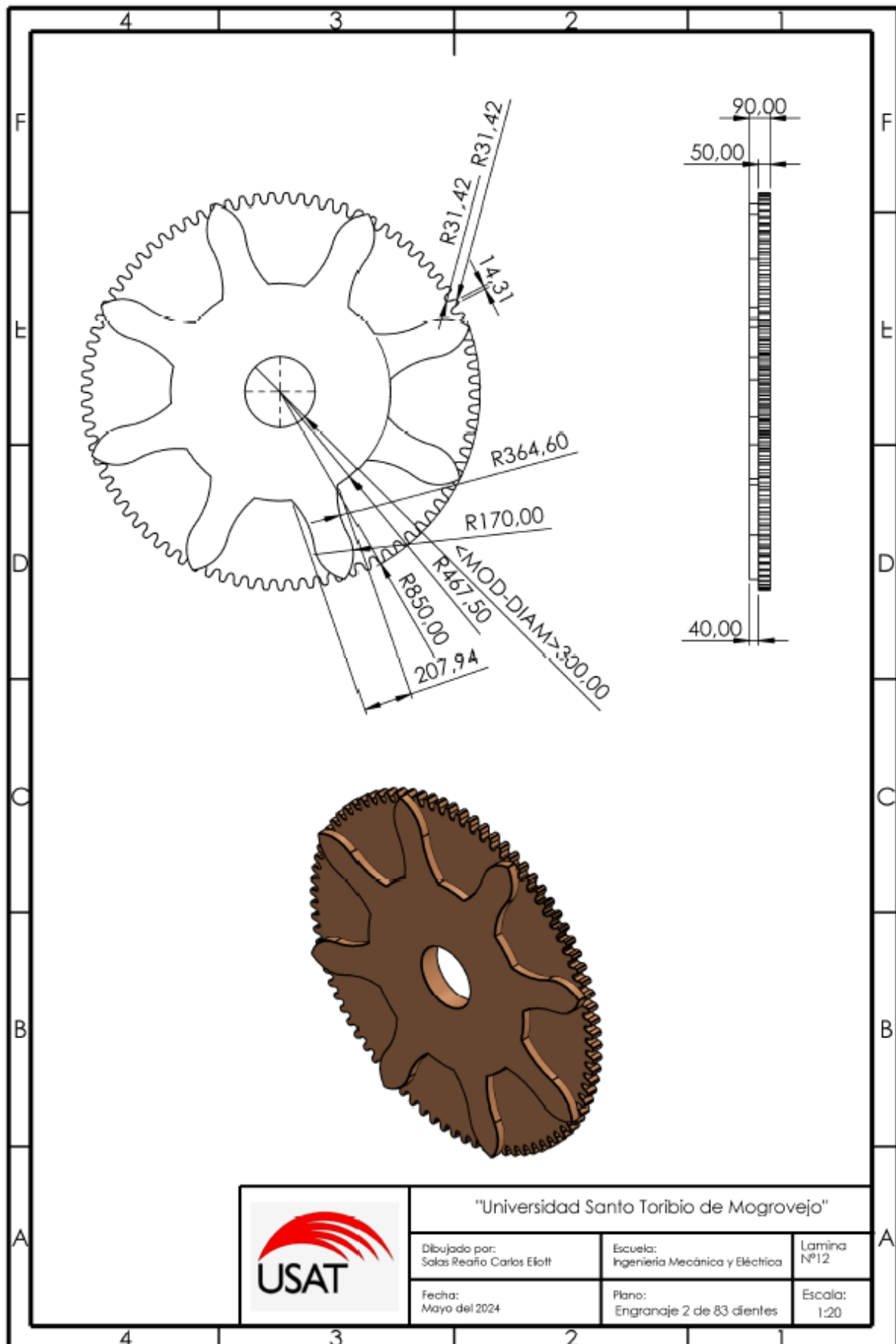
Anexo 16: Plano del eslabón interior de la cesta



Anexo 17: Plano del eslabón de sujeción de la cesta

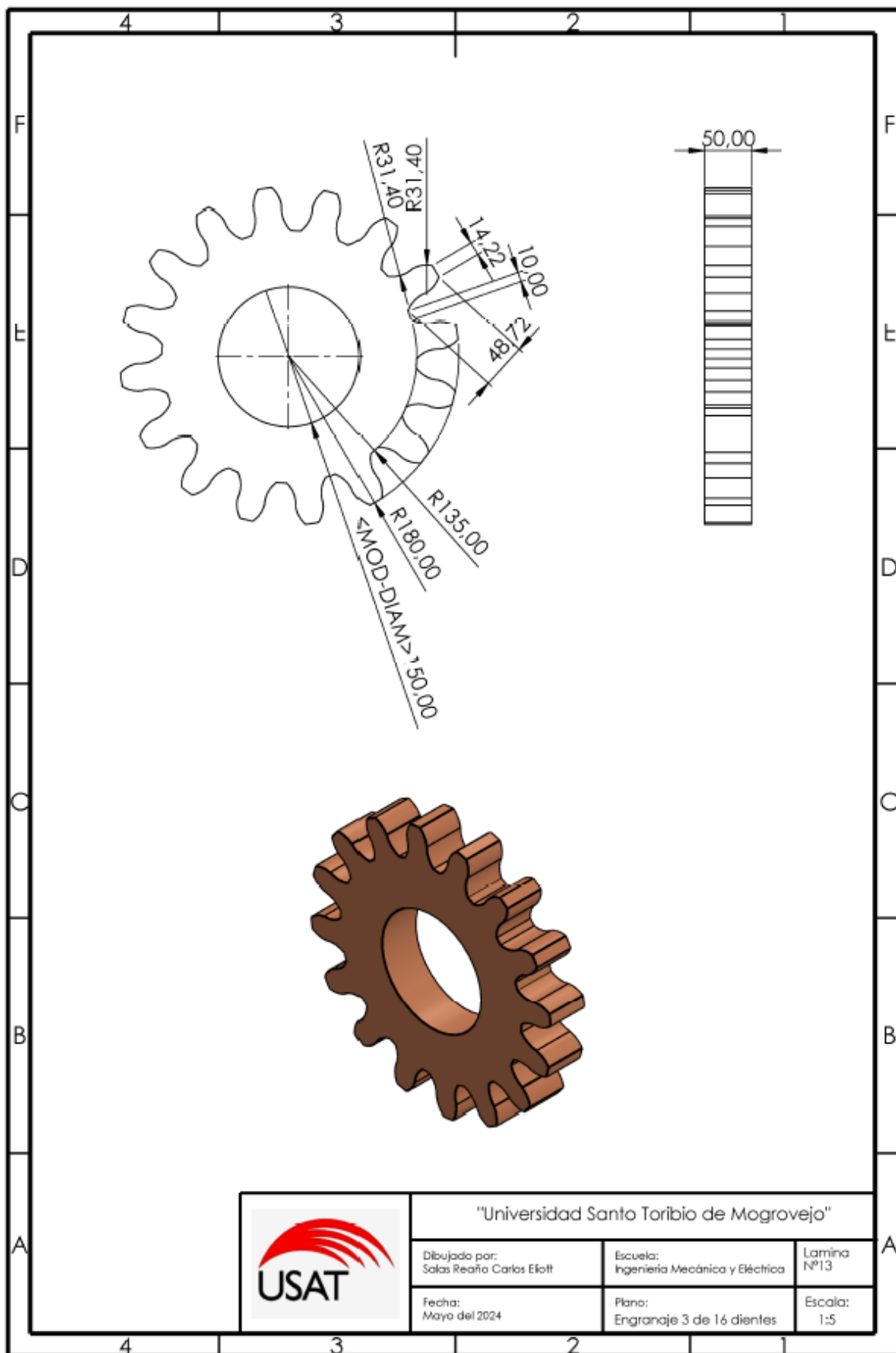


Anexo 18: Plano de engranaje 1 de 12 dientes



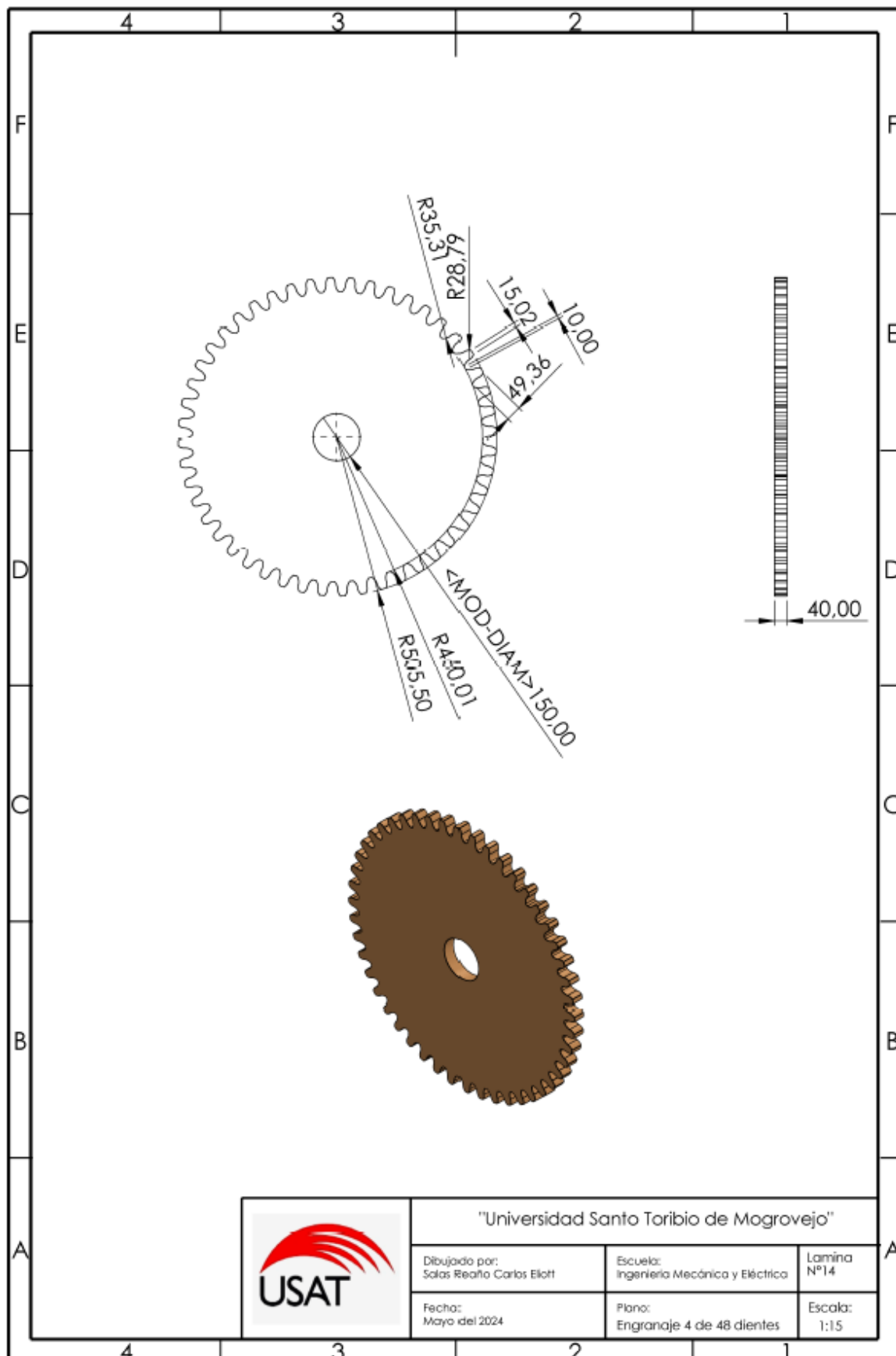
	"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"		
	Dibujado por: Salas Reaño Carlos Eloff	Escuela: Ingeniería Mecánica y Eléctrica	Lamina Nº12
	Fecha: Mayo del 2024	Plano: Engranaje 2 de 83 dientes	Escala: 1:20

Anexo 19: Plano de engranaje 2 de 83 dientes

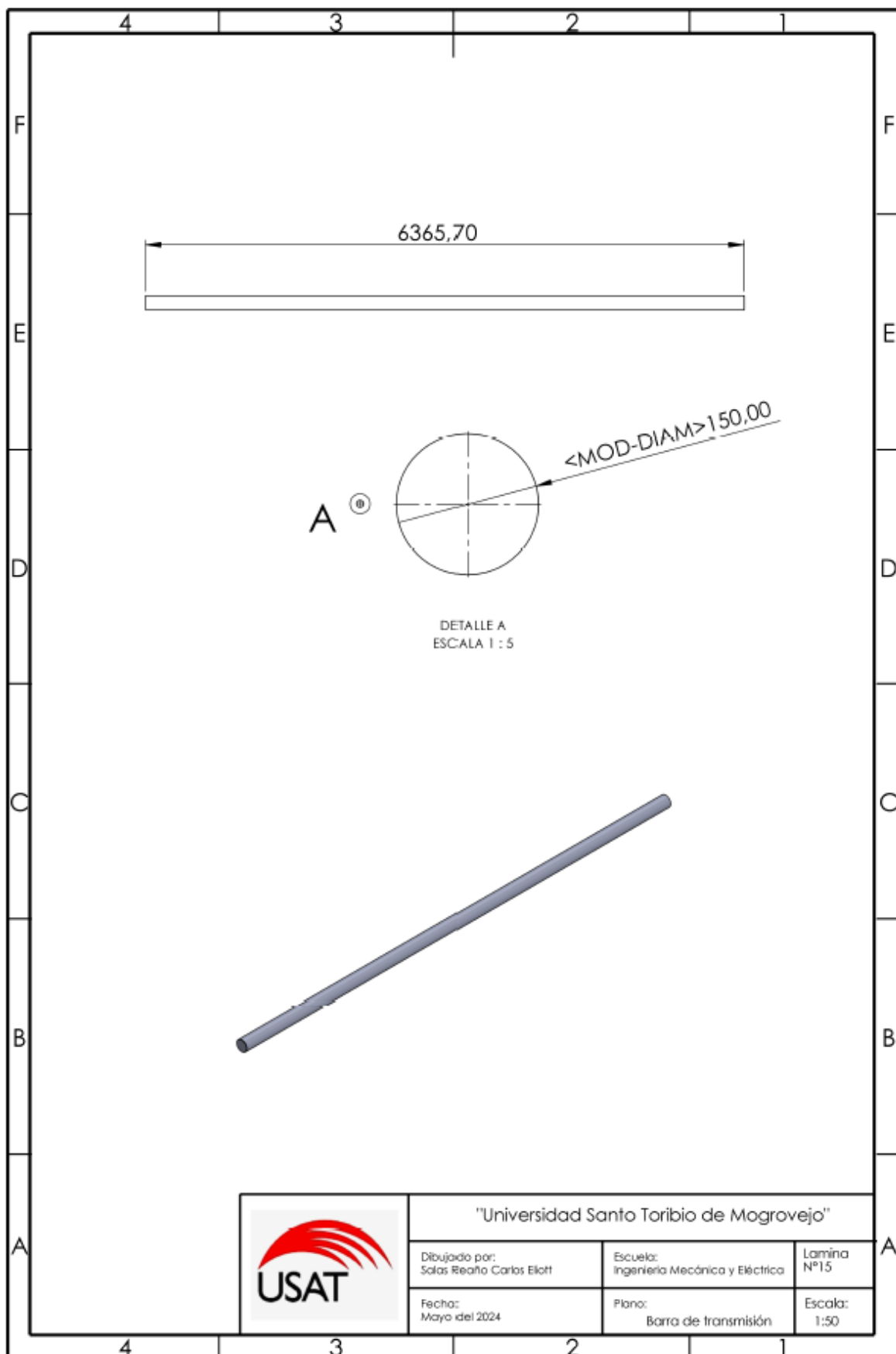


	"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"		
	Dibujado por: Salas Reaño Carlos Eliott	Escuela: Ingeniería Mecánica y Eléctrica	Lamina Nº13
	Fecha: Mayo del 2024	Plano: Engranaje 3 de 16 dientes	Escala: 1:5

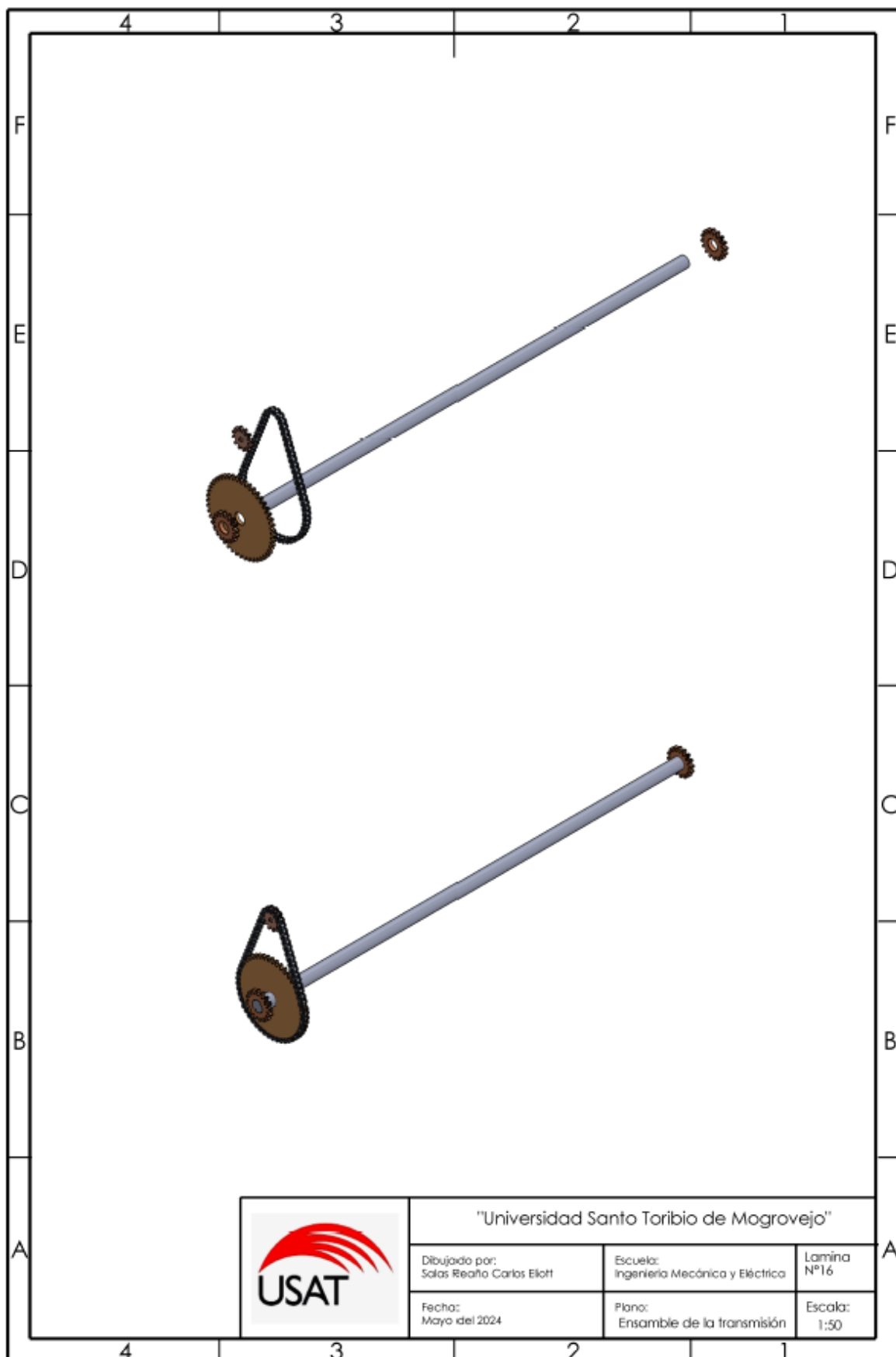
Anexo 20: Plano de engranaje 3 de 16 dientes



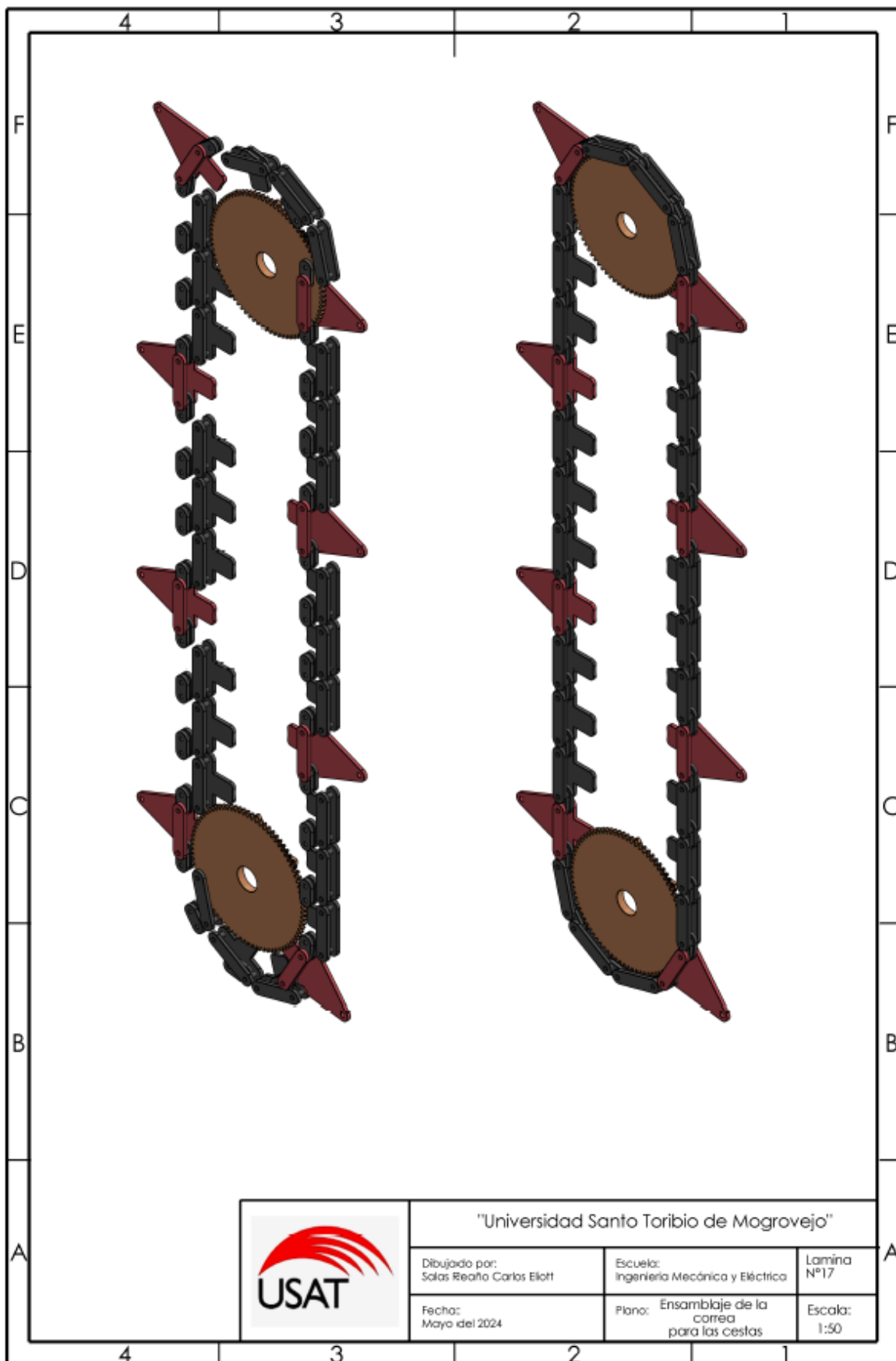
Anexo 21: Plano de engranaje 4 de 48 dientes



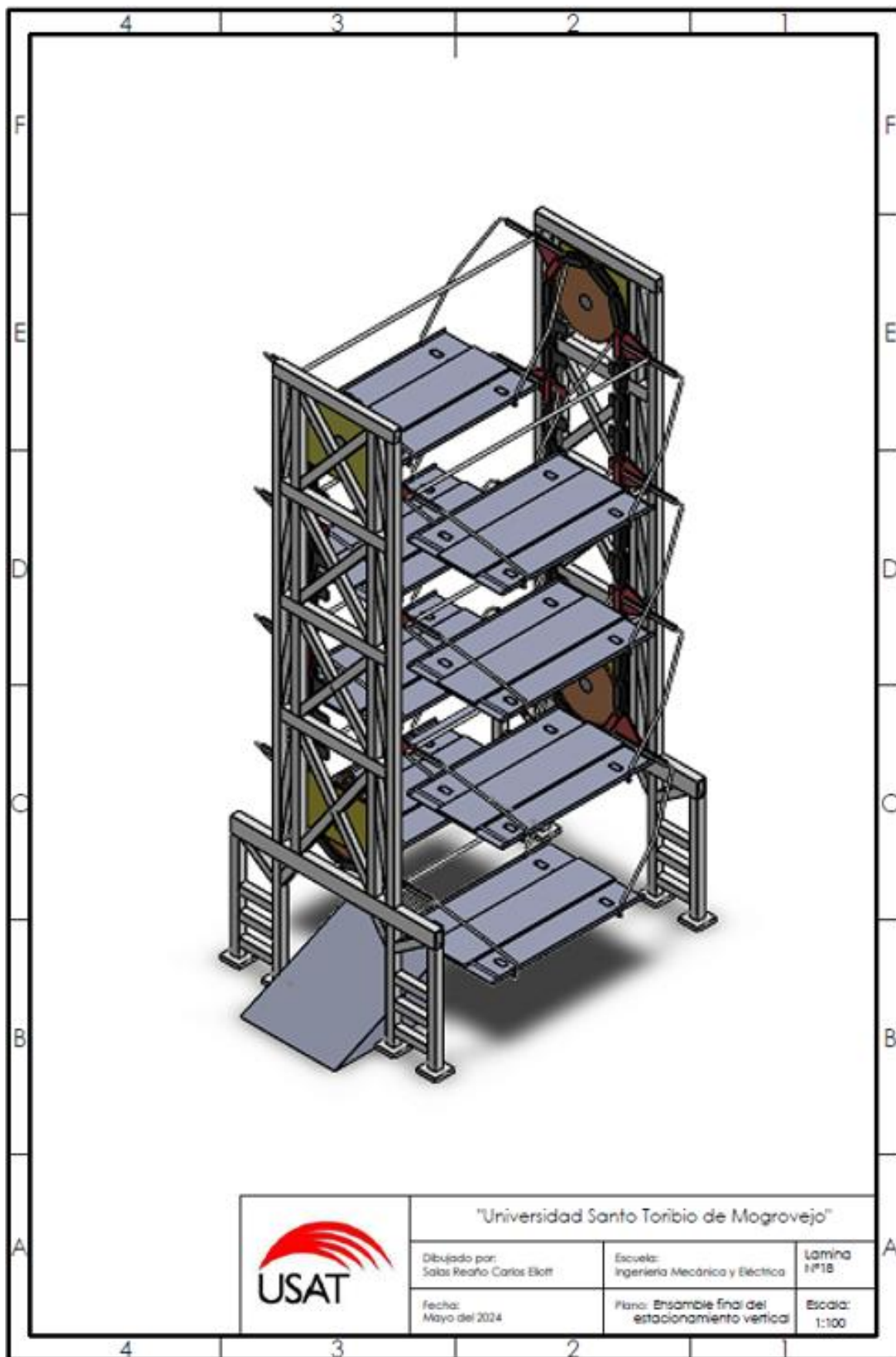
Anexo 22: Plano de la barra de transmisión



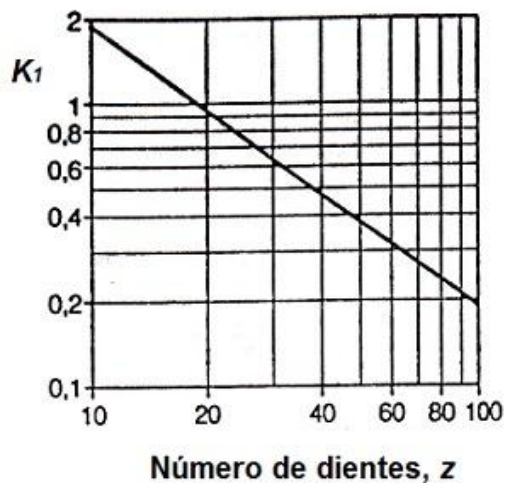
Anexo 23: Plano de ensamble de la transmisión



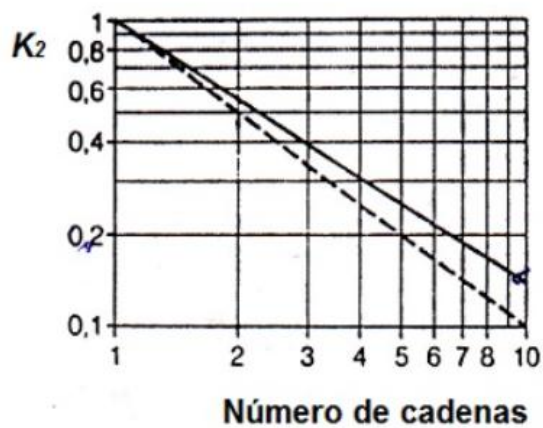
Anexo 23: Plano de ensamble de la correa para las cestas



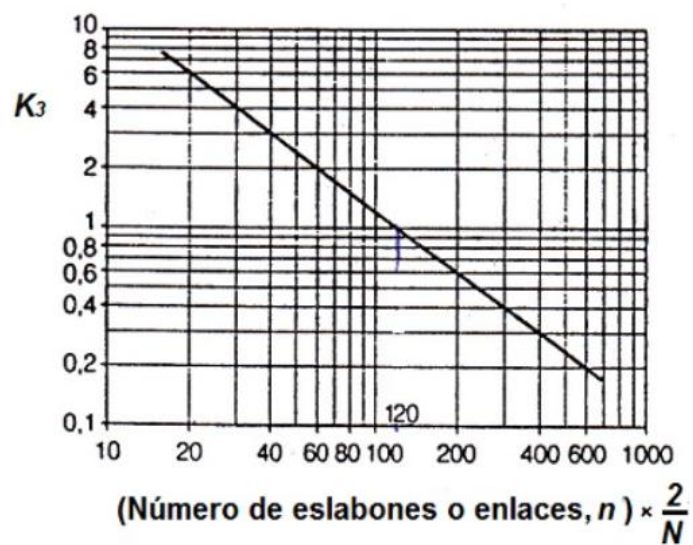
Anexo 24: Plano de ensamble final del estacionamiento vertical



Anexo 25: Gráfica de coeficiente K_1 , Coeficiente del número de dientes



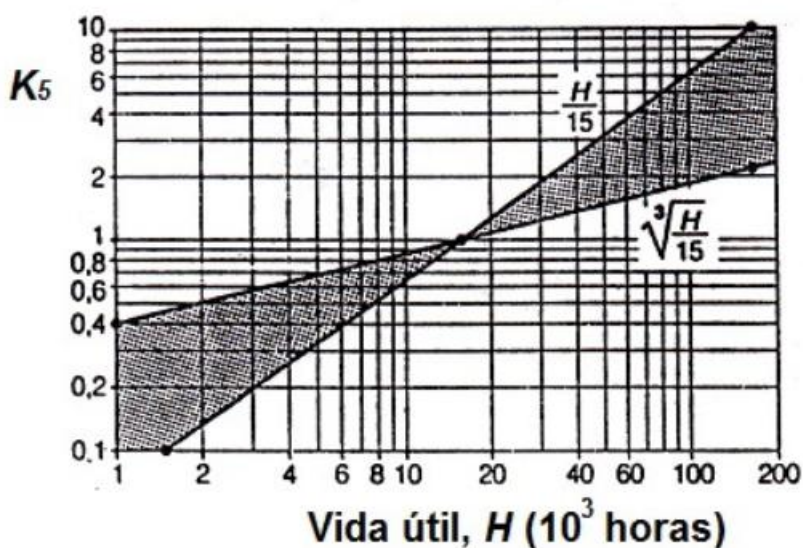
Anexo 26: Gráfica de coeficiente K_2 , Coeficiente de multiplicidad por cadenas



Anexo 27: Gráfica de coeficiente K_3

Coeficiente K_4 , Factor de servicio				
Charges	Machines réceptrices	Moteur à combustion interne à transmission mécanique		
		hydraulique Moteur électrique et Turbine	4 cylindres et plus	moins de 4 cylindres
Régulières	Machines d'imprimerie Pompes et compresseurs centrifuges Calandreuses pour papier Escaliers roulants Agitateurs de liquides	1,00	1,10	1,30
Irrégulières	Malaxeurs à béton Broyeurs à boulets Pompes et compresseurs à 3 pistons ou plus Presses, cisailles Agitateurs de solides Tamis vibrants	1,40	1,50	1,70
A-coups	Excavatrices Raboteuses Broyeurs à marteaux et à cylindres Pompes et compresseurs à 1 piston Forage pétrolier	1,80	1,90	2,10

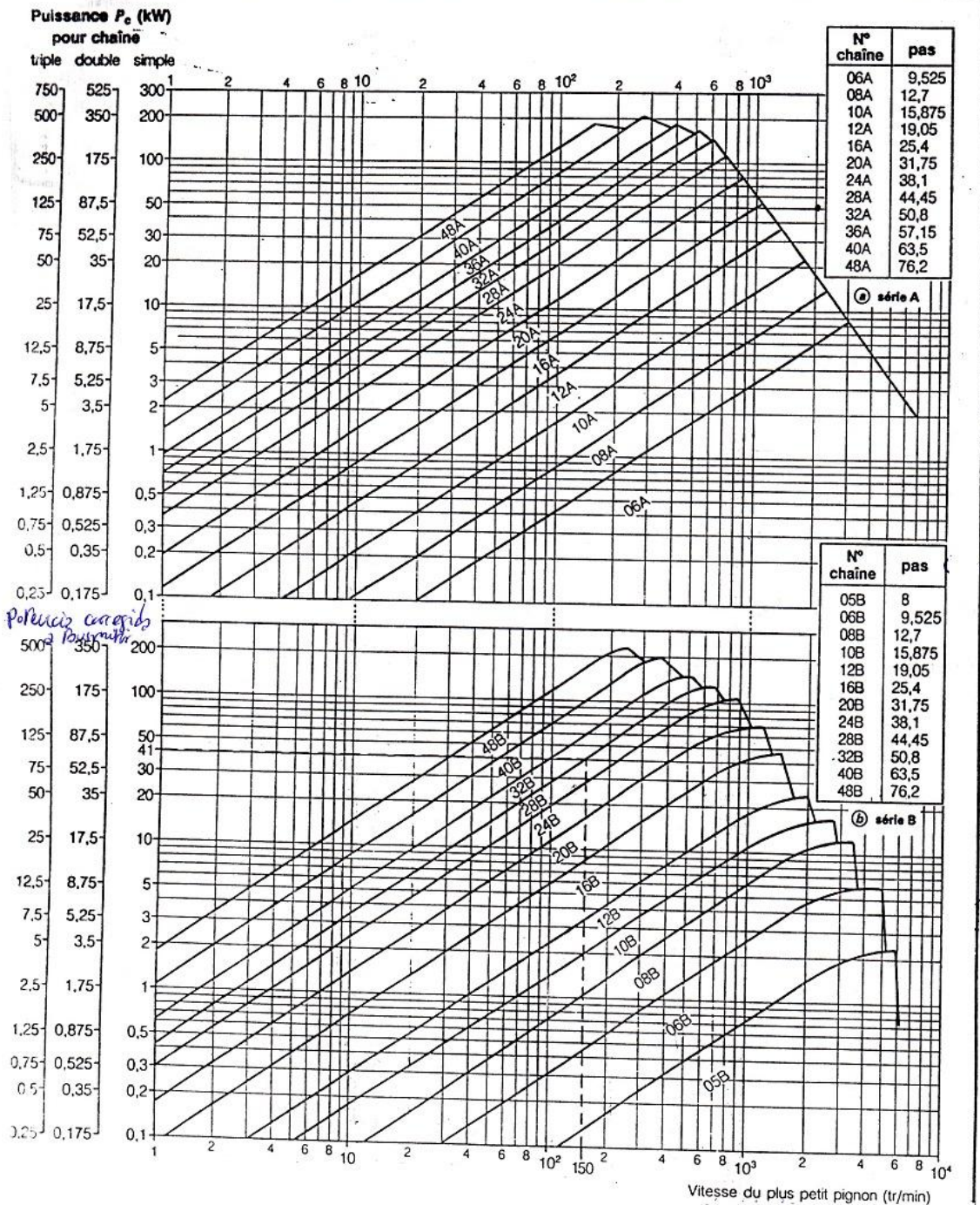
Anexo 28: Gráfica de coeficiente K_4 , Factor de servicio
Fuente: Catálogo de cadenas Joresa



Anexo 29: Gráfica de coeficiente K_5 , Coeficiente de duración
con respecto a la vida útil

Diagramas de selección de las cadenas de transmisión de potencia Series A (serie americana) y B (serie europea)

CHAÎNES MÉCANIQUES



Anexo 30: Gráfica para selección de cadena Norma ISO 606 (Serie Europea)

Fuente: catálogo de cadenas Joresa

Vitesse maximale de la chaîne.		
Pas mm	Vitesse de rotation tr/min	Vitesse linéaire m/s
9,525	10 000	30
12,7	7 000	28
15,875	5 000	24
19,05	4 000	24
25,4	2 500	18
31,75	1 600	16
38,1	1 300	16
44,45	1 000	14
50,8	700	11
63,5	500	10
76,2	400	9,5

Anexo 31: Tabla de velocidades máximas en cadenas

Fuente: página web Ingemecánica

REFERENCIAS		Paso	Ancho interior	Ø rodillo	Ø eje	Ancho estabón interior	Ancho sobre remache	Longitud eje unión	Ancho malla	Superf. articul.	Peso	Carga rotura
BEMSA	DIN-ISO	p	b ₁	d ₁	d ₂	b ₂	a	g	g	cm ²	Kg/m	Kp
R- 6-1	04B-1	6,00	2,80	4,00	1,85	4,10	7,40	10,30	5,00	0,07	0,12	300
R- 8-1	05B-1	8,00	3,00	5,00	2,31	4,77	8,60	11,70	7,11	0,10	0,18	460
R- 9-1	06B-1	9,525	5,72	6,35	3,28	8,53	13,50	16,80	8,26	0,28	0,40	910
R-102	081-1	12,70	3,30	7,75	3,66	5,80	10,20	11,70	9,91	0,21	0,28	820
R-110	082-1	12,70	2,38	7,75	3,66	4,60	8,20	-	9,91	0,16	0,26	820
R-46N	083-1	12,70	4,88	7,75	4,09	7,90	12,90	14,40	10,20	0,32	0,42	1400
R-17A	084-1	12,70	4,88	7,75	4,09	8,80	14,80	16,30	11,15	0,35	0,59	1600
R-41A	085-1	12,70	6,38	7,77	3,58	9,07	14,00	16,00	9,91	0,32	0,38	680
R- 12-1	08B-1	12,70	7,75	8,51	4,45	11,30	17,00	20,90	11,81	0,50	0,70	1820
R- 15-1	10B-1	15,875	9,65	10,16	5,08	13,28	19,60	23,70	14,73	0,67	0,95	2270
R- 19-1	12B-1	19,05	11,68	12,07	5,72	15,62	22,70	27,30	16,13	0,89	1,25	2950
R- 25-1	16B-1	25,40	17,02	15,88	8,27	25,45	36,10	41,50	20,60	2,10	2,70	6500
R- 31-1	20B-1	31,75	19,56	19,05	10,17	29,01	43,20	49,30	26,20	2,95	3,70	10000
R- 38-1	24B-1	36,10	25,40	25,40	14,63	37,92	53,40	60,00	33,20	5,54	6,70	17000
R- 44-1	28B-1	44,45	30,99	27,94	15,90	46,58	65,10	72,50	37,08	7,40	8,30	20000
R- 50-1	32B-1	50,80	30,99	29,21	17,81	45,57	67,40	75,30	41,60	8,12	10,50	26000
R- 63-1	40B-1	63,50	38,10	39,37	22,87	55,75	82,60	92,80	52,00	12,15	16,00	38000
R- 76-1	48B-1	76,20	45,75	48,26	29,22	70,56	99,10	109,60	63,50	20,61	27,20	60000
R- 88-1	56B-1	88,90	53,34	53,98	34,30	81,33	117,00	126,60	80,00	27,87	34,00	90000
R-101-1	64B-1	101,60	60,96	63,50	39,40	92,02	131,40	140,00	90,17	36,25	60,00	108000
R-114-1	72B-1	114,30	68,58	72,39	44,48	103,81	148,70	157,20	103,63	46,17	80,00	137000
T I P O S E S P E C I A L E S (no incluidos en normas)												
R- 5	-	5,00	2,50	3,20	1,49	4,15	7,40	10,00	4,10	0,05	0,08	200
R-435	-	9,525	3,30	6,00	2,78	5,45	9,60	12,70	9,00	0,15	0,26	800
R-31N	-	9,525	3,94	6,35	3,28	6,70	11,00	14,00	9,00	0,22	0,36	910
C-36N	-	9,525	7,50	5,08	3,28	10,80	15,80	17,50	9,30	0,39	0,46	1300
R-332	-	12,70	4,88	7,75	3,66	7,20	10,60	12,10	9,91	0,28	0,33	820
R-41N	-	12,70	5,21	8,51	4,45	8,74	15,00	18,90	11,81	0,39	0,62	1820
R-48N	-	12,70	6,40	7,75	3,97	9,78	15,40	18,30	11,00	0,38	0,50	1500
R-461	-	12,70	6,40	8,51	4,45	9,93	15,80	19,70	11,81	0,44	0,66	1820
R-130	-	15,875	4,88	7,75	3,66	7,20	10,60	12,10	10,00	0,26	0,28	820
R-51N	-	15,875	6,48	10,16	5,08	10,08	16,40	20,10	14,73	0,51	0,78	2270
R-67N	-	19,05	12,70	12,07	5,94	15,00	25,10	29,00	18,00	0,97	1,60	3900
R-82N	-	25,40	12,70	12,70	5,94	15,00	25,10	29,00	18,00	1,17	1,17	3500

Anexo 32: Tabla de características para cadena simple

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm ²)								
CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

Anexo 33: Tabla de características para conductores