

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**VEHÍCULO ELÉCTRICO OMNIDIRECCIONAL PARA CARGA
LIGERA EN MINERÍA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR:

Kirck Fernando Vera Alfaro

ASESOR:

Pedro Alonso Flores Álvarez


Lima, Diciembre, 2024

Informe de Similitud

Yo, Pedro Alonso Flores Alvarez,
docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia
Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada
Vehículo eléctrico omnidireccional para carga ligera en minería
del autor Kirck Fernando Vera Alfaro,
dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 10%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 13/02/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 13 de Febrero de 2025

Apellidos y nombres del asesor: <u>Flores Alvarez, Pedro Alonso</u>	
DNI: 46427181	Firma 
ORCID: 0000-0001-6640-7944	

RESUMEN

El presente trabajo ha sido desarrollado considerando la problemática relacionada a las condiciones actuales en las que se lleva a cabo el transporte de carga liviana en los diferentes campos como minería, construcción civil, almacenes industriales, entre otros. Se han identificado tres principales enfoques. En primer lugar, se reconoce que dicha actividad representa riesgos para el entorno y dificultad de maniobra para los operarios; en segundo lugar, se considera que el proceso es ineficiente dado los costos de operación, combustible y tiempos de parada; y como último punto, se identifica que este proceso contribuye considerablemente con la contaminación a nivel mundial.

Ante ello, en la presente tesis se propone como solución realizar el diseño de un vehículo eléctrico con un sistema de tele operación y desplazamiento omnidireccional; consiguiendo reducir emisiones y riesgos de la operación del vehículo, así como facilitando la maniobra y desplazamiento en lugares con espacios reducidos.

Para desarrollar dicho vehículo se ha considerado la metodología de diseño VDI, con intención de identificar los requerimientos que deberá presentar el vehículo y los componentes con los que se podrá llevar a cabo su desarrollo.

Avanzando con el documento, se diseñan y definen los sistemas hidráulico, eléctrico, electrónico, de control y mecánico que conforman al vehículo, de forma justificada y cumpliendo con los objetivos y requerimientos propuestos.

Finalmente, dada la gran escala del proyecto, se procede a simular los sistemas diseñados y analizar el desempeño de estos

Agradecimientos
A mi madre, por enseñarme a ser bueno,
A mi padre, por enseñarme a ser mejor,
A mi hermana, por su amor infinito,
A Fer porque siempre estuvo a mi lado,
A todos los amigos que fueron parte del proceso
Y a toda la familia, que creyó y permitió que esto sea posible



INDICE DE CONTENIDOS

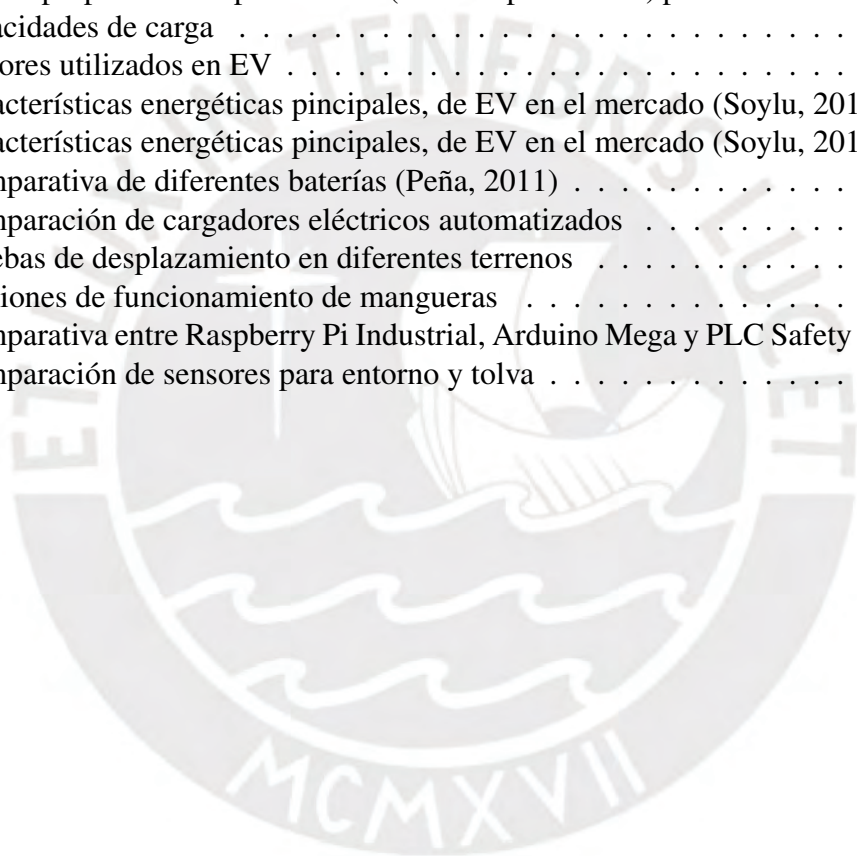
RESUMEN	I
INDICE DE CONTENIDOS	III
INDICE DE TABLAS	VI
INDICE DE FIGURAS	VII
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
1.1. Problemática	3
1.2. Propuesta de solución	5
1.3. Objetivos	5
1.4. Alcances	7
1.5. Metodología	7
ESTADO DE LA TECNOLOGÍA	9
2.1. Sistema de desplazamiento omnidireccional	9
2.1.1. Tracción con viraje	10
2.1.2. Tracción holonómica	10
2.1.3. Tracción con Mecanum	12
2.2. Sistema de chasis y suspensión en vehículos de carga pesada	14
2.2.1. Chasis o bastidor	14
2.2.2. Suspensión	16
2.3. Sistema de izaje de carga pesada	16
2.4. Electrificación de vehículos	17
2.4.1. Distribución de potencia de vehículos eléctricos	18
2.4.2. Grado de electrificación	18
2.4.3. Motores eléctricos	19
2.5. Fuente de energización	23
2.5.1. Principio de funcionamiento	23
2.6. Análisis de productos automatizados	26
2.6.1. Automatización en minería	26

2.6.2.	Prototipos de vehículos autónomos	27
2.7.	Investigaciones académicas y patentes	28
DISEÑO CONCEPTUAL		31
3.1.	Requerimientos del sistema	31
3.2.	Estructura de funciones	33
3.3.	Matriz morfológica	34
3.4.	Conceptos de solución y evaluación	36
3.4.1.	Solución 1	36
3.4.1.	Concepto de Solución 2	38
3.4.1.	Concepto de Solución 3	39
3.4.4.	Evaluación técnico-económica	39
3.5.	Concepto de solución óptima	41
DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO		44
4.1.	Sistema hidráulico de izaje	44
4.1.1.	Cálculo y elección de elementos	44
4.1.2.	Simulación de sistema hidráulico	51
4.2.	Implementación de desplazamiento omnidireccional	57
4.2.1.	Elección de ruedas	57
4.2.2.	Dinámica de desplazamiento con ruedas Mecanum	58
4.2.3.	Control de desplazamiento	60
4.2.4.	Simulación de desplazamiento	62
4.3.	Sistema eléctrico y electrónico de energización	65
4.3.1.	Elección de componentes electrónicos	65
4.3.2.	Diagramas de conexión y alimentación	75
4.3.3.	Diagramas de operaciones	77
4.3.4.	Implementación del control para izaje	77
4.4.	Diseño mecánico del vehículo	78
4.4.1.	Diseño y modelado de la tolva	78
4.4.2.	Elementos de transmisión de potencia	80
4.4.3.	Ensamble de sistemas eléctricos, electrónicos e hidráulicos	83
4.4.4.	Elección y diseño de chasis y suspensión	85
4.4.5.	Simulación de resistencia en componentes por MEF	87
INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA		91
ANÁLISIS DE COSTOS		95
CONCLUSIONES		97
RECOMENDACIONES		99
BIBLIOGRAFÍA		100



INDICE DE TABLAS

2.1. Comparación de tracciones omnidireccionales (Doroftei, Grosu & Spinu, 2007)	14
2.2. Caudal proporcionado por bombas (en litros por minuto) para VC con diferentes capacidades de carga	17
2.3. Motores utilizados en EV	20
2.4. Características energéticas pincipales, de EV en el mercado (Soylu, 2011) . . .	23
2.5. Características energéticas pincipales, de EV en el mercado (Soylu, 2011) . . .	24
2.6. Comparativa de diferentes baterías (Peña, 2011)	25
2.7. Comparación de cargadores eléctricos automatizados	28
2.8. Pruebas de desplazamiento en diferentes terrenos	30
4.9. Presiones de funcionamiento de mangueras	51
4.10. Comparativa entre Raspberry Pi Industrial, Arduino Mega y PLC Safety S7-1200F	72
4.11. Comparación de sensores para entorno y tolva	73

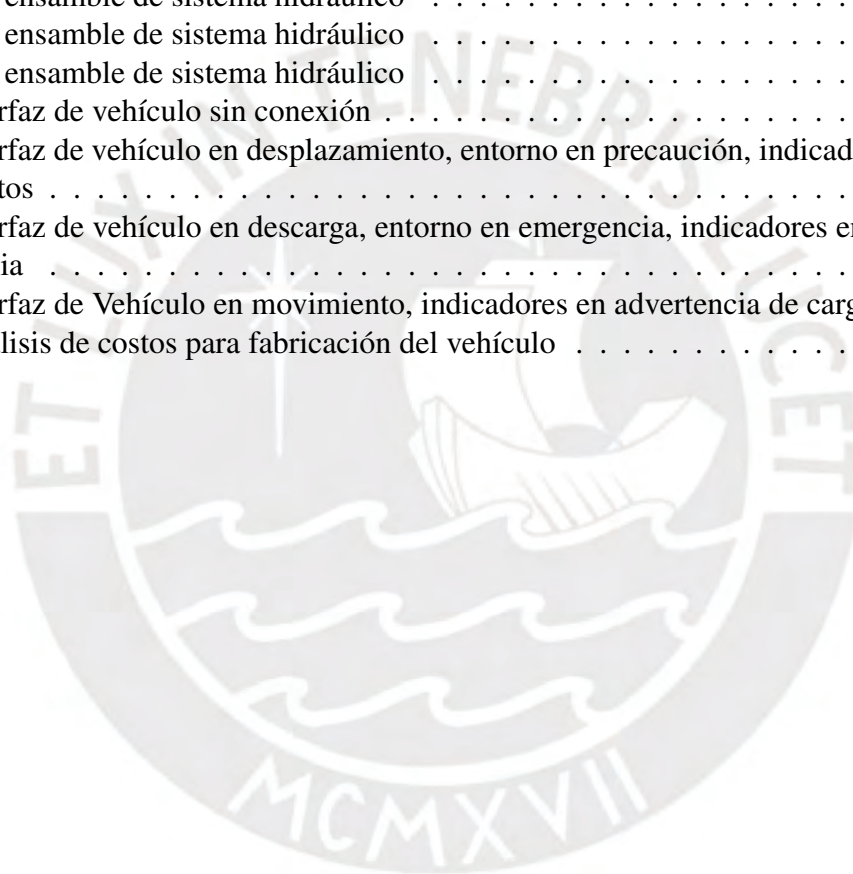


INDICE DE FIGURAS

1.1. Emisiones de CO2 de vehículos de carga pesada en Escenario de Desarrollo Sostenible, 2000-2030 (IEA,2020).	4
1.2. Prototipo de cargador autónomo Volvo HX02 (VOLVO CE, 2017).	6
1.3. Procedimiento general de desarrollo y diseño sistemáticos (VDI 2221, 1986).	8
2.4. Disposiciones de tracción omnidireccional (Abd Mutalib & Azlan, 2020)	10
2.5. Rueda Omni (Abd Mutalib & Azlan, 2020)	11
2.6. Esquema cinemático holonómico (Santiago Martinez, 2009)	11
2.7. Rueda Mecanum: Vista frontal y 3D (Doroftei, Grosu & Spinu, 2007)	12
2.8. Sistema de coordenadas y velocidades de vehículo omnidireccional con ruedas Mecanum (Campos, 2018)	13
2.9. Camión minero CAT 770 (CAT, 2012)	15
2.10. Chasis de camión minero CAT (CAT, 2010)	15
2.11. Cilindros telescópico (Hydraulic-calculation, s.f.)	16
2.12. Cilindros de levantamiento (CAT, 2010)	17
2.13. Vehículo eléctrico de batería de un motor (de Lucena, 2011)	18
2.14. Grado de electrificación en vehículos (Bilgin et al., 2015)	19
2.15. Diagrama de bloques funcional de propulsión en VE (Palafox, 2009)	20
2.16. Evaluación de motores de tracción eléctrica (Zeraoulia, Diallo, & Benbouzid, 2006)	22
2.17. Sistema para camión AutoMine Lite (SANDVIK, s.f.)	26
2.18. Inspección de Volvo HX02 en Las Vegas convention (Nikkei Asia, 2019)	27
2.19. Presentación de Komatsu en MINExpo (KOMATSU Latinoamérica, 2016)	28
3.20. Leyenda - Soluciones en matriz morfológica	34
3.21. Vista general de disposición de tolva, chasis, ruedas Mecanum y suspensión	37
3.22. Radio controller	37
3.23. Método para medir nivel de carga de la tolva con sensor infrarrojo	38
3.24. Sensores de ultrasonido para detectar entorno cercano	38
3.25. Pantalla de centro de mando	39
3.26. Evaluación técnica de conceptos de solución	40
3.27. Evaluación económica de conceptos de solución	41
3.28. Gráfica con resultados de evaluación	42
3.29. Chasis para el vehículo de carga	42
3.30. Ensamble de ruedas, motor y suspensión	43
3.31. Primera vista general del vehículo	43

4.32. Disposición de cilindros de levante y pivote	46
4.33. Factor k de longitud de carrera para vástago (Benjamín Barriga, s.f.)	47
4.34. Bombas, motores y filtros hidráulicos. Series "PH" Polaris (Casappa, 2017)	48
4.35. Válvula 4/3 ABT comunicada	49
4.36. Circuito hidráulico con cilindro doble efecto, 4/3 anti retorno	49
4.37. Vista isométrica de válvula direccional Rexroth de corredera 4/3, actuada por solenoides; con A, B y T conectados	50
4.38. Sistema modelado en FluidSIM	52
4.39. Simulación en inicio de levante	53
4.40. Simulación en proceso de levantamiento	54
4.41. Simulación en levantamiento interrumpido	54
4.42. Simulación de cilindro al final de descarga	55
4.43. Simulación de cilindro en descenso a posición de reposo	55
4.44. Simulación de cilindro en descenso interrumpido	56
4.45. Simulación de cilindro en final de descenso	56
4.46. Rueda Mecanum YSMW609 del fabricante Yousheng	57
4.47. Vistas de Rueda Mecanum YSMW609	58
4.48. Vista de planta de rueda Mecanum	58
4.49. Distancias longitudinal y transversal entre centros de ruedas del vehículo	59
4.50. Diagrama flujo de algoritmo de control	61
4.51. Algoritmo de control implementando planta y PID	62
4.52. Perfil de velocidades para trayectoria rectangular	62
4.53. Simulación de trayectoria rectangular	63
4.54. Perfil de velocidades para trayectoria combinada	63
4.55. Simulación de trayectoria combinada	64
4.56. Simulación de trayectoria circular	64
4.57. DCL de rueda, antes de rodadura	65
4.58. DCL del vehículo en movimiento	66
4.59. Gráfica Torque vs RPM para motor AMR 250-P1 (Cascadia Motion, s.f.)	68
4.60. Reductor serie EP tamaño 018A 2EB/10,4 (Rossi Part Community, s.f.)	69
4.61. Controlador PM250DZ (Cascadia Motion, s.f.)	70
4.62. Mini Moduke de Batería Lithium Ion 2710 (Cascadia Motion, s.f.)	70
4.63. Máquina de estados de BMS Cascadia (Cascadia Motion, s.f.)	71
4.64. BMS Casacdia (Cascadia Motion, s.f.)	71
4.65. Implementación de IoT 2040 en un sistema de control (Kostoláni, Murín & Kozak, 2019)	72
4.66. Zonas de detección de entorno con 2 sensores PSEN Scan	73
4.67. Disposición de sensores en tolva	74
4.68. Luz de advertencia en perímetro de montacargas (RCT, s.f.)	75
4.69. Diagrama de energización de componentes electrónicos	76
4.70. Diagrama de comunicación entre componentes electrónicos	76
4.71. Vista isométrica de tolva de 8 m ³	79
4.72. Unión de cilindro con tolva y chasis	80
4.73. Sub ensamble de tracción	81

4.74. Dimensiones de YS-MW609-100 (YouSheng, 2022)	81
4.75. Ensamble general AMR 250 Splined (AM Racing, 2011)	82
4.76. Brida de transmisión	83
4.77. Sub ensamble de sistema hidráulico	84
4.78. Sub ensamble de sistema electrónico	84
4.79. Sub ensamble de suspensión con ballestas	85
4.80. Sub ensamble de chasis y suspensión	86
4.81. Ensamble general del vehículo omnidireccional	87
4.82. Sub ensamble de sistema hidráulico	88
4.83. Sub ensamble de sistema hidráulico	88
4.84. Sub ensamble de sistema hidráulico	89
4.85. Sub ensamble de sistema hidráulico	89
4.86. Sub ensamble de sistema hidráulico	90
5.87. Interfaz de vehículo sin conexión	91
5.88. Interfaz de vehículo en desplazamiento, entorno en precaución, indicadores co- rrectos	92
5.89. Interfaz de vehículo en descarga, entorno en emergencia, indicadores en adver- tencia	93
5.90. Interfaz de Vehículo en movimiento, indicadores en advertencia de carga	93
6.91. Análisis de costos para fabricación del vehículo	95



INTRODUCCIÓN

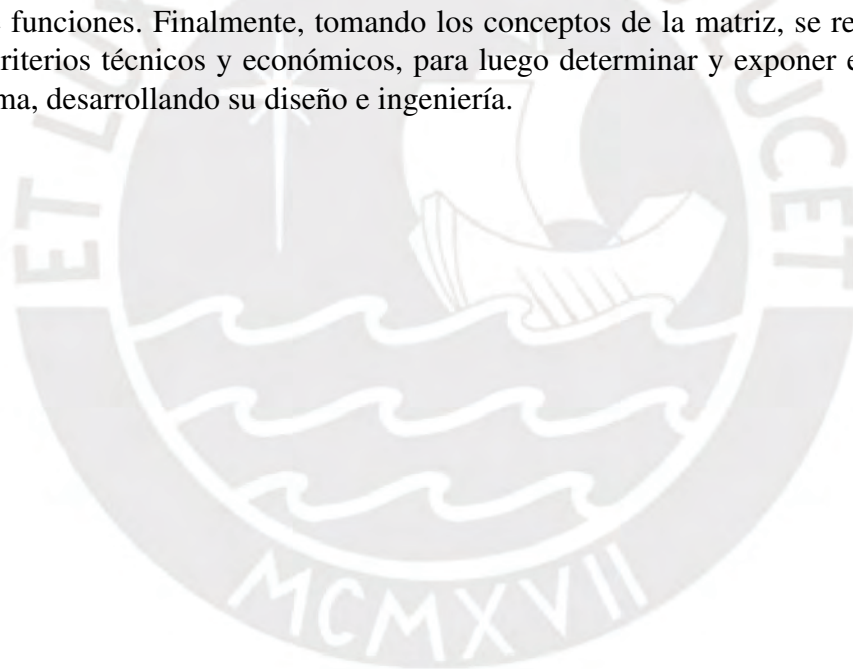
En la actualidad, la tecnología tiene un desarrollo a ritmo acelerado. Uno de los principales desafíos es dar respuesta rápida al creciente volumen de consumo y producción demandado. Dicho desarrollo se pudo reflejar en el Perú tomando como muestra el ininterrumpido crecimiento de la demanda interna registrado en los últimos 40 trimestres para el 2019 (INEI, 2019); considerando que la época de pandemia representó valores atípicos de crecimiento, se puede reconocer que el Perú aún se encuentra en un contexto de recuperación económica con la expansión del PBI en 3.6 % para el segundo trimestre del 2024 (INEI, 2024). Este aumento en el consumo, requiere de un desarrollo en el sector transporte, ya que la mayoría de los sectores económicos necesitan transportar bienes, personal, maquinaria, productos, etc. Por otro lado, el avance tecnológico en el sector transporte también ha requerido implementar enfoques ambientales, regulando la forma de consumir energía y también las emisiones generadas. Se puede tomar como ejemplo a las normas europeas Euro 6, las cuales limitan las emisiones generadas por vehículos de motor de combustión y se definen los lineamientos para la reparación y mantenimiento de los mismos (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2007); se entiende que el desarrollo del transporte también requiere mayor responsabilidad ambiental.

En el Perú, la minería representa un crecimiento económico a costa de un constante daño al medio ambiente, por lo cual, en el presente trabajo se busca una alternativa de solución para contribuir con un desarrollo sostenible por parte de la minería. Dentro de las actividades donde se reconoce una gran oportunidad de mejora de la tecnología actual, se encuentra al transporte de carga pesada utilizado en las minas, que representa un ritmo operativo constante y fundamental para cumplir con los procesos mineros. El presente trabajo propone un vehículo que permita realizar transporte de carga pesada implementando tecnología que disminuya la contaminación. Este vehículo se desarrolla de forma modular y tiene como alcance la elaboración de un prototipo que puede ser dimensionado para adaptarse a las necesidades de carga pesada de diferentes aplicaciones de la industria; sin embargo, el prototipo ha sido desarrollado para atender las necesidades de carga pesada en minería. Por otro lado, el transporte de carga pesada representa altos costos operativos: la baja eficiencia energética en su funcionamiento, el elevado costo que representa la planilla de operarios, la dependencia de dichos vehículos con el precio de los hidrocarburos. Adicionalmente, se analiza el desafío que representa la manipulación de los vehículos de carga pesada, puesto que sus grandes dimensiones y los espacios limitados causan dificultad en su desplazamiento, provocando operaciones con bajo ritmo e inseguridad para los operarios, el entorno y la maquinaria.

En solución a la problemática identificada se propone un vehículo de transporte que utilice energía eléctrica, con finalidad de disminuir la cantidad de emisiones de Gases de Efecto

Invernadero y así reducir el impacto negativo generado. Asimismo, se plantea implementar un sistema de desplazamiento omnidireccional, con el objeto de facilitar la manipulación de dichos vehículos y mejorar la eficiencia de su operación, siendo capaz de rotar en cualquier dirección y trasladarse inmediatamente a cualquier punto. Por otro lado, se propone que este vehículo pueda ser controlado a distancia y cuente con un sistema de anti colisión, tratando de asegurar el entorno y permitiendo maniobras fáciles y seguras. Finalmente, los procesos de descarga y transporte serán realizados de forma semi autónoma controlados por el operario a distancia.

Para el desarrollo del concepto de solución se propone como objetivos: Comprobar si la omnidireccionalidad es funcional y representa una maniobra simple; analizar el estado actual de la tecnología relacionada a los vehículos utilizados en minería, así como el creciente campo de los vehículos eléctricos y sus principales componentes (motores y baterías). Para el desarrollo, se tomará como guía de diseño e implementación a la metodología VDI 2221, que demanda elaborar una lista de requerimientos, una vez conocido el estado actual de la tecnología. Luego de identificar los requerimientos, se procederá a reconocer las principales funciones y elementos que se deben integrar, se presentará una matriz morfológica que permita presentar diferentes conceptos de solución agrupando principios de funcionamiento para cada uno de los elementos portadores de funciones. Finalmente, tomando los conceptos de la matriz, se realiza una evaluación con criterios técnicos y económicos, para luego determinar y exponer el concepto de solución óptima, desarrollando su diseño e ingeniería.



CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En este capítulo se desarrollará la problemática identificada como la contaminación generada por los vehículos de carga pesada, enfocándose de forma particular en la minería del Perú. Adicionalmente, se explica la poca eficiencia en los procesos de transporte en minería. Finalmente, se analiza el desafío e inseguridad que representa la maniobrabilidad de maquinaria pesada. Proponiendo una posible solución, se evalúa la problemática actual en la electrificación de vehículos.

A continuación, se describe la propuesta de solución a la problemática expuesta, se definen los objetivos y alcances del presente trabajo, y se presenta la metodología a utilizar para el diseño y desarrollo del sistema mecatrónico.

1.1. Problemática

Si bien el mercado automotriz ha caído en un 11.21 % en el Perú, el segmento que contrarresta esta caída es el de vehículos pesados con un crecimiento cerca a 7.1 % entre enero a junio del 2024, lo cual está relacionado al buen desempeño del sector minería y construcción en la primera mitad del año (Minería & Energía, 2024) y se proyecta un continuo crecimiento en los próximos años. Sin embargo, el crecimiento en la capacidad de transporte representa un impacto negativo para la sociedad, como se puede identificar en la Figura 1.1, las proyecciones con respecto a emisiones de CO₂, generadas por vehículos de carga pesada, aumentarán en alrededor de 1,296 millones de toneladas de CO₂ por año para el 2025.

Al enfocar la situación actual en el Perú, se conoce que la minería es una de las actividades económicas más importantes, representando aproximadamente el 9.5 % del PBI (El Peruano, 2024). Siendo esta actividad una de las más productivas, también se considera como uno de los procesos con mayor nivel de contaminación ambiental. El transporte de carga pesada es una de las tareas con mayor ritmo operativo, este se puede considerar como el causante de una gran cantidad de emisiones, conllevando a un impacto negativo para el medio ambiente. Así pues,

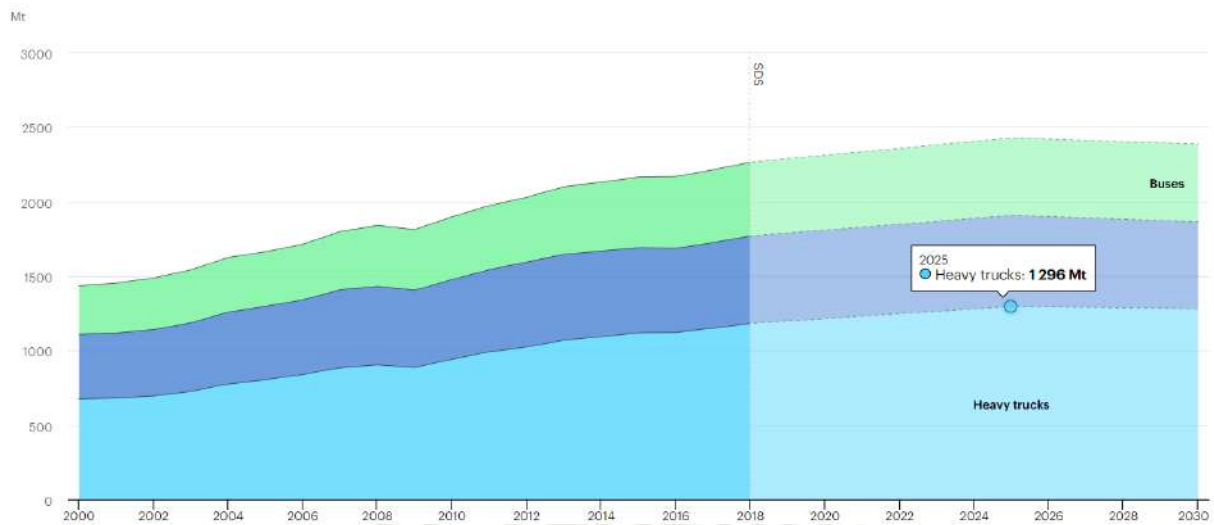


Figura 1.1: Emisiones de CO2 de vehículos de carga pesada en Escenario de Desarrollo Sostenible, 2000-2030 (IEA,2020).

se reconoce como primera problemática la contaminación proveniente de la maquinaria pesada utilizada en el transporte.

El transporte de carga pesada también representa grandes costos operativos, asociados en primer lugar al de adquisición de un vehículo de carga. Adicionalmente, se suman los costos para cumplir con las remuneraciones de los operarios de dichos vehículos, en promedio, un operario de vehículos mineros percibe un salario aproximado de US\$ 80 000 anual. También cabe resaltar que la maquinaria pesada utilizada en minería implementa motores de petróleo, los cuales tienen un grado de eficiencia energética cercano al 50%. Los grandes requerimientos de potencia de este tipo de vehículos son compensados con motores de grandes dimensiones y por ende, se tiene un consumo elevado de energía. El combustible necesario para la operación de camiones mineros representa un costo horario cercano a los S/ 376.4/h. En resumen, se concluye que el proceso de transporte en minería representa grandes costos operativos acompañados de una baja eficiencia, lo cual puede ser solucionado con la utilización de nuevas tecnologías con grandes capacidades de potencia.

Por otro lado, el transporte en minería representa un desafío considerable para los operarios de Vehículos de Carga pesada (VC) con grandes dimensiones. En el Perú existen 141 principales unidades mineras en producción, de las cuales el 43% son subterráneas (MINEM, 2018). En este tipo de operación, la mayor parte de las actividades son limitadas principalmente por los espacios reducidos presentes en los socavones. Asimismo, en las minerías de tajo abierto, se requiere de maniobras precisas y coordinadas en las actividades realizadas por palas, cargadores y VC. Usualmente los procesos de carga, acarreo y descarga se realizan por numerosos equipos

de maquinarias, en los cuales se necesita coordinación y una confiable manipulación para así evitar accidentes mortales. Con finalidad de cumplir con las actividades mencionadas, es necesario contar con operarios de VC capacitados, puesto que dadas las grandes dimensiones de los vehículos, los espacios en las minas se vuelven muy limitados para su maniobra. Este tipo de maquinaria presenta un mecanismo de desplazamiento con dirección en las llantas delanteras, requiriendo realizar procesos repetitivos de avance y retroceso cuando se encuentran en espacios reducidos. Esta forma de maniobrar no es eficiente debido a los prolongados tiempos que representa enfrentar rutas complicadas o espacios limitados. Se enfoca como posible alternativa de solución, la implementación de un sistema de desplazamiento omnidireccional que permita maniobrar de forma fácil e ilimitada en cuanto a rotación y traslación.

Se presenta una solución para resolver la problemática identificada, para ello se analizó prototipos existentes que implementan tracción eléctrica para transportar y descargar cargas de hasta 230 Tn. Si bien año tras año se observa cómo el motor eléctrico va ganando terreno en la industria automotriz (Almela, D., s.f.), su gran limitación reside en la autonomía que puede ser proporcionada por las baterías del mercado actual (Triana Barreda, 2019). Por ello se plantea desarrollar un sistema compacto que permita obtener una autonomía suficiente para desempeñar tareas de transporte.

1.2. Propuesta de solución

Se propone el diseño de un VC que pueda desplazarse a cualquier punto en el mismo plano de forma remota, al implementar un sistema de desplazamiento omnidireccional tele operado. Adicionalmente, debe contar con un sistema de teleoperación que permita realizar de forma semi autónoma los procesos de transporte y descarga; acompañado de un sistema anti colisión con el objetivo de evitar accidentes. Se muestra en la Figura 1.2, un prototipo desarrollado por Volvo de un vehículo de carga y transporte autónomo. También se considera proveer de tracción eléctrica al vehículo, eliminando en su totalidad la contaminación por emisiones de carbono y asegurando la autonomía de energización para realizar actividades rutinarias en minería, trabajando con una carga máxima de 6 Tn.

1.3. Objetivos

Se considera como objetivo general desarrollar un prototipo de vehículo que implementa un sistema de desplazamiento omnidireccional, pudiendo soportar y transportar cargas de hasta 06 toneladas, siendo capaz de desempeñar los procesos de transporte y descarga de forma tele

operada, disponiendo de un sistema de alerta de proximidad e implementando tracción eléctrica.



Figura 1.2: Prototipo de cargador autónomo Volvo HX02 (VOLVO CE, 2017).

Adicionalmente, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el estado actual de la tecnología referente a vehículos de carga pesada y los sistemas que los conforman.
- Determinar los principales requerimientos de cada sistema e identificar diferentes principios de funcionamiento para satisfacer cada requerimiento.
- Realizar la evaluación de criterios técnicos y económicos para cada principio de funcionamiento, obteniendo el concepto mejor calificado como la solución óptima.
- Diseñar el sistema hidráulico necesario para poder realizar el proceso de descarga de hasta 06 Tn y simular su desempeño.
- Definir la estrategia y algoritmo de control del desplazamiento omnidireccional, de forma que se pueda optimizar el desplazamiento.
- Definir las características de un sistema que suministre energía eléctrica necesaria para poder realizar actividades rutinarias de transporte.
- Definir el tipo de chasis y suspensión a implementar en el vehículo de carga, y simular su resistencia en cada escenario.
- Analizar que los costos para implementar el vehículo de carga sean competitivos para el sector minero en Perú. Se plantea como objetivo un costo de desarrollo menor a USD 1 millón.

1.4. Alcances

Como producto final se presenta el diseño de un prototipo que implemente las funcionalidades definidas en los objetivos; el cuál podrá ser adecuado y dimensionado teniendo en cuenta capacidades y tiempos de trabajo requeridos. Adicionalmente, se puede considerar la utilización y adaptación del prototipo para actividades de carga pesada relacionadas con construcción, almacenes industriales, transporte de equipos de salud, entre otras industrias que puedan aprovechar sus funciones. Tomando en cuenta los objetivos propuestos, se considera importante contar con información cuantitativa relacionada al desempeño de los diferentes sistemas, para lo cual se ha previsto utilizar herramientas de simulación. Se propone que el vehículo podrá ser tele operado debido a que no cuenta con una cabina de operación pero sí con una interfaz de control a distancia. Asimismo, se considera que el vehículo debe operar en un entorno supervisado, donde el operador tenga clara visión del vehículo y de los agentes presentes en el área; así como también una zona de bajo tránsito de trabajadores, en una superficie afirmada con una pendiente máxima a 10°.

1.5. Metodología

Para el proceso de diseño, en el presente trabajo se utilizará la metodología VDI 2221, detallada en la Figura 1.3. En primer lugar, se necesita obtener un diseño conceptual óptimo. Para ello, se expone la problemática y se plantean los objetivos que la resuelven. Para cada objetivo, se considera definir, clarificar y detallar cada tarea que debe cumplir el producto. Teniendo un contexto detallado de las tareas, se podrá definir las características del vehículo. El paso siguiente, será determinar todas las funciones necesarias para cumplir con los objetivos, dando como resultado una estructura de funciones. En secuencia, se procede a reconocer los diversos principios de solución aplicables a cada función, compararlos y combinarlos para poder integrarlos en diferentes soluciones. Se realiza una evaluación con criterios técnicos y económicos, y se elige el concepto óptimo que será tomado como base para la siguiente etapa.

En la siguiente etapa se desarrolla el diseño definitivo. Para ello se diseñan sistemas modulares que cumplan con objetivos específicos y puedan ser simulados; para luego poder proponer una configuración y disposición física apropiada de todos los sistemas en el vehículo. Para la distribución de los sistemas, se plantea el siguiente orden:

- Sistema hidráulico para izaje de carga
- Desplazamiento omnidireccional y control

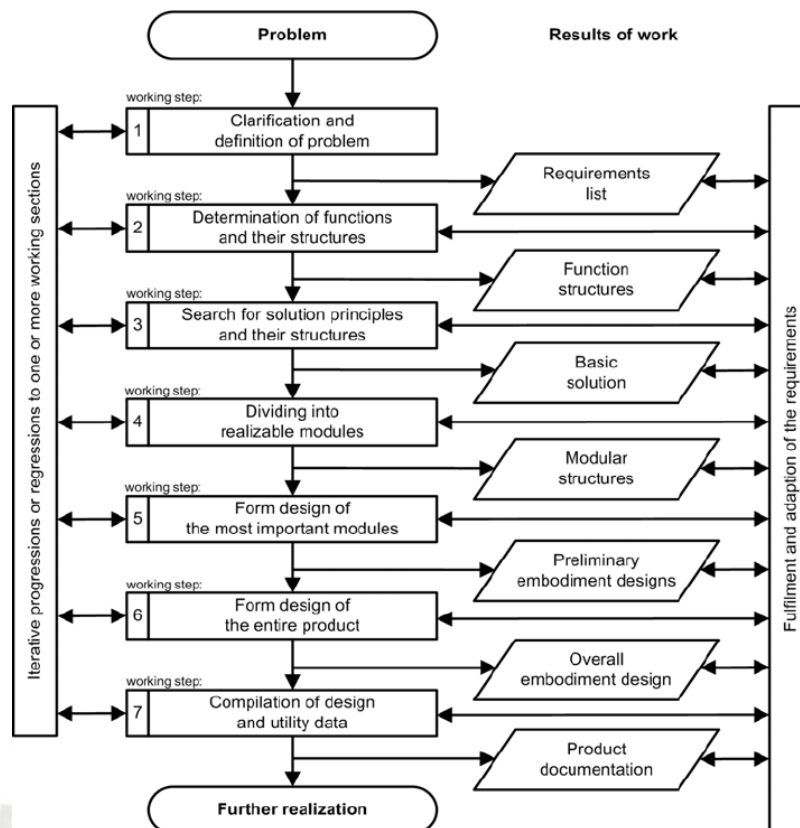


Figura 1.3: Procedimiento general de desarrollo y diseño sistemáticos (VDI 2221, 1986).

- Sistema eléctrico/electrónico de tracción y energización
- Sistema mecánico de bastidor y suspensión
- Sistema mecánico de transmisión y tracción
- Ensamble, planos mecánicos, esquemáticos e hidráulicos
- Presupuesto

En el presente documento se realiza la elección o diseño de los componentes principales de cada sistema de forma justificada mediante cálculos para cada sistema. Finalmente, se presenta una simulación de cada sistema para verificar el desempeño obtenido y el cumplimiento de los objetivos propuestos. La disposición física y conexiones de todos los componentes se detalla en la penúltima sub sección. Finalmente, se presenta una compilación ordenada de todos los planos, información técnica, esquemas hidráulicos, eléctricos y demás información de elementos y sistemas; además, se hace un análisis de costos de todo el proyecto. Con lo anterior expuesto se considera concluido el diseño del prototipo.

CAPÍTULO 2

ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

En el presente capítulo se expondrá el estado actual de la tecnología referente a los sistemas necesarios para el diseño del prototipo. Para el análisis del Estado de la Tecnología se ha dispuesto la siguiente organización: Primero, se explica el sistema de desplazamiento omnidireccional y las diferentes configuraciones posibles. El segundo punto a tratar es el sistema de chasis y suspensión, tomando como prioridad el diseño de un prototipo resistente y durable. A continuación, se expone el sistema de izaje a implementar para la descarga del vehículo. Después, se comienza a tratar el tema relacionado a vehículos eléctricos: configuraciones y clasificaciones, tipos de motores y baterías. Más adelante, se analiza el estado de automatización en vehículos de carga, en minería en el Perú. En el desarrollo de cada sistema se muestran tablas comparativas con características técnicas de los equipos utilizados en minería con capacidad de carga cercana al prototipo. Finalmente, se presenta un resumen de la normativa que rige el funcionamiento de vehículos de carga en el Perú.

2.1. Sistema de desplazamiento omnidireccional

Las cargas pesadas influyen en la tracción y dirección de un vehículo de carga, haciendo que su manipulación sea complicada y requiera de especialización. Por ello, se considera importante la eficiencia y seguridad que se puede implementar para el manejo de estos vehículos, considerando un sistema omnidireccional de desplazamiento como la mejor alternativa.

La funcionalidad del desplazamiento omnidireccional consiste en la posibilidad que presenta el vehículo para realizar cualquier movimiento de rotación y traslación en cualquier dirección, en un plano. Adicionalmente, dicho sistema no necesita alterar la orientación de sus ruedas y obtiene una respuesta inmediata para desplazarse hacia cualquier punto objetivo. Un sistema de desplazamiento omnidireccional cuenta con 3 grados de libertad, lo cual resulta provechoso para mejorar la eficiencia del sistema en su control y maniobra.

La facultad para poder desplazarse de forma inmediata a cualquier punto es posible por el

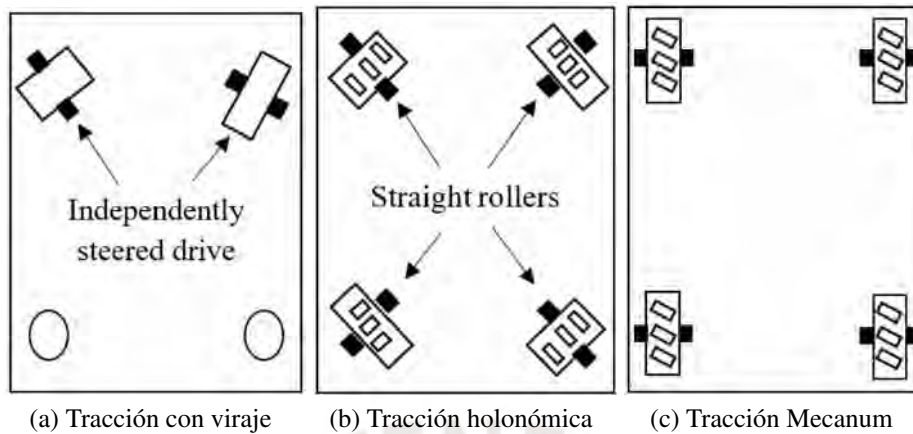


Figura 2.4: Disposiciones de tracción omnidireccional (Abd Mutalib & Azlan, 2020)

tipo de ruedas especiales que implementan estos vehículos y/o la disposición de estas.

En primer lugar, se puede reconocer tres tipos de disposición para implementar un sistema omnidireccional como se muestran en la Figura 2.4:

- Tracción con viraje.
- Tracción holonómica
- Tracción Mecanum

2.1.1. Tracción con viraje

Con respecto al primer tipo de implementación, se utilizan ruedas de diseño convencional con un sistema de dirección independiente para cada una. Este sistema presenta como dificultad que cuando se esté atravesando una curva no-continua se toma una cantidad considerable de tiempo, en comparación al tiempo nulo de otras disposiciones, para que la dirección oriente las ruedas y enfrente la curva (Dubowski et al., 2000). También, se puede considerar que la construcción y control del sistema de dirección presenta cierta complejidad en cuanto a costos y diseño.

2.1.2. Tracción holonómica

La tracción holonómica consiste en usar ruedas Omni con rodillos, como en la Figura 2.5. Este sistema es compacto y simple para construir y controlar, pero tiene una escasa tracción (Abd Mutalib & Azlan, 2020). Los rodillos rectos son tangentes a la circunferencia de la rueda.

Estas ruedas implementan una componente pasiva de rotación gracias a los rodillos. El diseño de un vehículo con este tipo de ruedas es simple y funcional, pues contando con tres ruedas Omni puede realizar trayectorias en cualquier orientación y de forma instantánea.



Figura 2.5: Rueda Omni (Abd Mutalib & Azlan, 2020)

Sin embargo, este tipo de disposición presenta gran sensibilidad a la superficie, puesto que para realizar un movimiento lateral (paralelo al eje de una rueda) se considerará a los rodillos como ruedas, por lo cual los escalones que se puedan enfrentar estarán limitados por el radio del rodillo. Es necesario realizar una combinación lineal de los vectores de desplazamiento de las ruedas para controlar el desplazamiento a cualquier punto. En la Figura 2.6 se muestra un tipo de tracción holonómica.

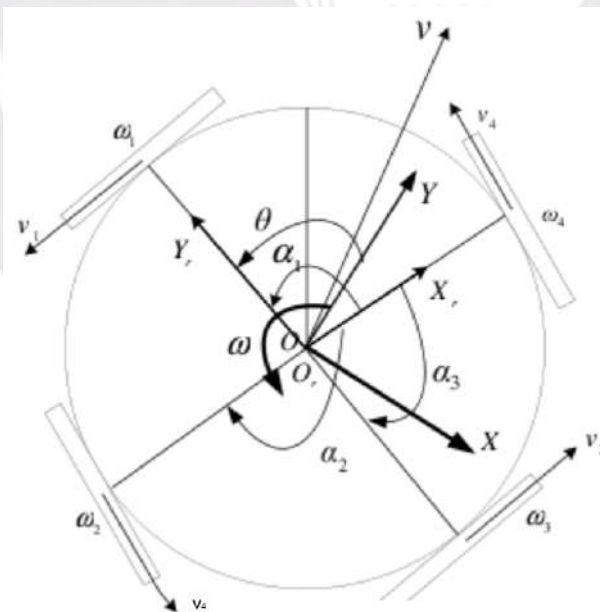


Figura 2.6: Esquema cinemático holonómico (Santiago Martinez, 2009)

Considerando que el eje X_r coincide con la rueda 4, como en la Figura 2.6. Se presentan las siguientes ecuaciones, en las cuales: w_i representa la velocidad angular de cada rueda, α

representa el ángulo entre los ejes de las ruedas respecto a X_r , y L la distancia del centro del vehículo a las ruedas. A partir de las velocidades lineales y angulares del vehículo, se obtienen las velocidades angulares para cada rueda, utilizando la Ecuación 2.1, denominada ecuación de dinámica inversa.

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{r} \cdot \begin{bmatrix} -\text{sen}(\alpha_1) & \text{cos}(\alpha_1) & L \\ -\text{sen}(\alpha_2) & \text{cos}(\alpha_2) & L \\ -\text{sen}(\alpha_3) & \text{cos}(\alpha_3) & L \\ 0 & 1 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{w} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

2.1.3. Tracción con Mecanum

Para la implementación de tracción Mecanum se necesita utilizar 4 o más ruedas Mecanum. Este tipo de rueda, mostrada en la Figura 2.7, puede ser accionada de forma rotativa con 2 sentidos. Adicionalmente, estas ruedas cuentan con rodillos libres en la circunferencia de la corona, los cuales tienen un ángulo de desfase con respecto a la orientación de la rueda. La combinación de velocidades y sentidos de giro independiente para cada rueda, en suma con la rotación libre de los rodillos; resulta en un sistema con 3 grados de libertad. Este tipo de ruedas permite un diseño compacto y una capacidad de carga elevada. Sin embargo, también se presenta sensibilidad a las irregularidades del terreno y un diseño de ruedas complejo.

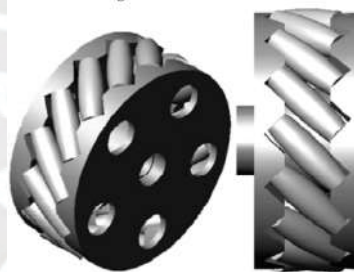


Figura 2.7: Rueda Mecanum: Vista frontal y 3D (Doroftei, Grosu & Spinu, 2007)

A continuación se muestran las ecuaciones de cinemática. V_i es la velocidad tangencial de cada rueda generada por la rotación de las mismas, donde i indica el número de rueda. Las componentes de velocidad de los rodillos son los vectores V_{ir} . En la Figura 2.8 se muestra la disposición física del sistema omnidireccional de cuatro ruedas, con los componentes de velocidades ubicados en el centro de gravedad de las ruedas. En las ecuaciones se considera que los rodillos tiene una orientación de 45° con respecto a los ejes de las ruedas.

$$V_{irx} = V_{ir} \cdot \text{cos}(45^\circ) = V_{ir} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

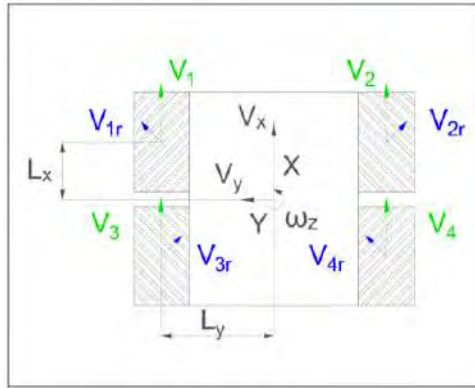


Figura 2.8: Sistema de coordenadas y velocidades de vehículo omnidireccional con ruedas Mecanum (Campos, 2018)

$$V_{iry} = V_{ir} \cdot \text{sen}(45^\circ) = V_{ir} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Así se puede definir la velocidad total de cada rueda como suma de: velocidad de rotación más la componente de velocidad de los rodillos. Se tiene a R y w_i como el radio de las ruedas y la velocidad angular de cada una. Así, tomando para la rueda 1 y según los ejes de Figura 2.8, se tiene:

$$V_{1x} = V_1 + V_{1r} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = R \cdot w_1 + V_{1r} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \quad V_{1y} = V_{1r} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Se puede expresar la velocidad total cada rueda como sus componentes de velocidad lineal en cada eje más las velocidades generadas por la rotación del sistema w_z . Las distancias L_x y L_y se ven expresadas en el esquema de la Figura 2.8.

$$V_1 = V_x - V_y - (L_x + L_y) \cdot w_z$$

$$V_2 = V_x + V_y + (L_x + L_y) \cdot w_z$$

$$V_3 = V_x + V_y - (L_x + L_y) \cdot w_z$$

$$V_4 = V_x - V_y + (L_x + L_y) \cdot w_z$$

Estas ecuaciones se pueden utilizar para despejar las velocidades angulares de las ruedas. A continuación, se muestra la ecuación de cinemática directa, donde a partir de una velocidad de rotación w_i de cada rueda se puede obtener las componentes de velocidad del vehículo y su velocidad de rotación.

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ w_z \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ \frac{-1}{(L_x+L_y)} & \frac{1}{(L_x+L_y)} & \frac{-1}{(L_x+L_y)} & \frac{1}{(L_x+L_y)} \end{bmatrix} R \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Denominando a la Ecuación 2.2 como la cinemática directa, también se puede obtener la ecuación de cinemática inversa, que permite calcular la velocidad angular de cada rueda, para obtener una velocidad definida en el vehículo.

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & -(L_x + L_y) \\ 1 & -1 & L_x + L_y \\ 1 & -1 & -(L_x + L_y) \\ 1 & 1 & L_x + L_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ w_z \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Finalmente, en la Tabla 2.1 se realiza una comparación entre las principales ventajas y desventajas de cada una de las tracciones analizadas.

Tabla 2.1: Comparación de tracciones omnidireccionales (Doroftei, Grosu & Spinu, 2007)

Tipo de tracción	Ventajas	Desventajas
Tracción holonómica	Bajo peso, diseño compacto, diseño mecánico simple	Contacto discontinuo de ruedas, sensibilidad a irregularidades
Tracción Mecanum	Diseño compacto, alta capacidad de carga, buena tracción de desplazamiento	Contacto discontinuo de ruedas, sensibilidad a irregularidades, ruedas de diseño complejo
Tracción con viraje	Contacto continuo de rueda, robusto	Diseño pesado y voluminoso, transmisión de potencia complicada, mecánica compleja

2.2. Sistema de chasis y suspensión en vehículos de carga pesada

2.2.1. Chasis o bastidor

Uno de los componentes responsables del desempeño de los vehículos de carga es el chasis o bastidor. La capacidad de resistencia de este elemento debe considerar las elevadas cargas

a soportar y los elementos que se montarán en él. Por otro lado, el material del chasis debe asegurar la prolongada durabilidad de este tipo de camiones.

Con interés de conocer el diseño y materiales empleados en la actualidad, se realizó un análisis de los diferentes camiones mineros. Se consideró modelos con capacidades de trabajo similares al camión minero de la Figura 2.9, considerándolo de los camiones más utilizados en minería (Lavado Gervacio, 2019).



Figura 2.9: Camión minero CAT 770 (CAT, 2012)

La estructura del chasis utiliza un diseño de sección en caja, donde se combinan secciones de acero HSLA (alta resistencia y baja aleación), identificado con el color amarillo en la Figura 2.10; y adicionalmente se incorporan entre 13 a 25 piezas de fundición en áreas que representan altas tensiones y concentración de carga, identificadas con rojo. El acero HSLA ofrece elevada resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, a la fatiga y compatibilidad con soldadura. La mayoría de los componentes se encuentran unidos por soldaduras continuas y a tope. Adicionalmente, el diseño de caja abierta permite un fácil mantenimiento y acceso a los elementos en su interior.

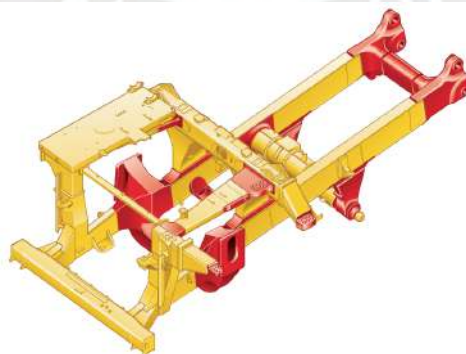


Figura 2.10: Chasis de camión minero CAT (CAT, 2010)

2.2.2. Suspensión

La suspensión de un vehículo debe brindar estabilidad en su desplazamiento. También debe contribuir con la amortiguación de los impactos en la carga del VC para prolongar su durabilidad. Considerando la tracción necesaria en las ruedas, los VC necesitan tener una correcta distribución de todo el peso del vehículo sobre las ruedas, para ello es necesario considerar correctamente los elementos y características del sistema de suspensión.

Considerando que el vehículo diseñado es tele operado, no se enfocará los elementos en el confort, sino en la alta capacidad de carga, durabilidad y adaptabilidad del diseño. Se encuentran, en la actualidad, los siguientes tipos de suspensión utilizados en vehículos de minería: suspensión neumática, de ballestas, hidráulica e independiente. Para la evaluación técnica se considerará como opciones la suspensión de ballestas e hidráulica, debido a que son fáciles de implementar y adaptar a los requerimientos.

2.3. Sistema de izaje de carga pesada

Los VC analizados son utilizados para manipular elevadas cargas (alrededor de 10 Tn) de forma asistida por sistemas hidráulicos. En este tipo de VC se utilizan cajas de carga, o tolvas, para recolectar el material y almacenarlo de forma segura. Dicha caja se encuentra montada en los largueros del chasis, que distribuyen la carga entre el eje delantero y posterior.

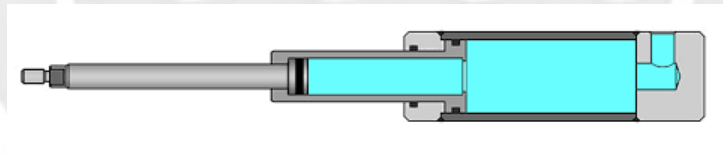


Figura 2.11: Cilindros telescópico (Hydraulic-calculation, s.f.)

La elevación de la tolva se realiza usando un sistema hidráulico que permite obtener elevadas fuerzas utilizando cilindros de bajo diámetro. El sistema hidráulico está conformado por una unidad de abastecimiento y dos o más cilindros. La unidad de abastecimiento está conformada por el depósito de aceite; este sirve de contenedor y fuente del fluido. Los fluidos a utilizar deben ser incompresibles, tener capacidad de lubricación, no ser inflamables y ser un buen disipador de calor, debido a las altas exigencias. También se requiere de una bomba hidráulica, de caudal determinado, para generar flujo volumétrico. Además, se requieren filtros para conservar el fluido sin impurezas, que pueden causar pérdidas de potencia, y mantener el desempeño esperado del sistema. Finalmente, la unidad de abastecimiento implementa una válvula de alivio, que protege al sistema de sobre presiones. En la Tabla 2.2 se muestran los



Figura 2.12: Cilindros de levantamiento (CAT, 2010)

caudales de las bombas del sistema hidráulico de un VC con la correspondiente capacidad de carga útil del vehículo.

Tabla 2.2: Caudal proporcionado por bombas (en litros por minuto) para VC con diferentes capacidades de carga

Carga útil	36.3t	38.6t	181t
Caudal de bomba	448	515	666

Los cilindros utilizados para el izaje son del tipo telescópico. La ventaja que presentan es la reducida longitud de montaje y la gran longitud de carrera, se aprecia en la Figura 2.11 una relación de 1:3. En la Figura 2.12 se puede apreciar la disposición de los cilindros: estos van sujetos en el larguero del chasis y fijos en la tolva para realizar un desplazamiento diagonal, que le permite pivotar con el chasis y aumentar el ángulo de inclinación para la descarga. Estos cilindros son seleccionados en función al caudal disponible, la fuerza necesaria y la longitud de carrera.

2.4. Electrificación de vehículos

La propulsión de un vehículo suministra la potencia necesaria para generar el movimiento del mismo. Además, es importante que dicho sistema pueda ser controlado de forma precisa y rápida, para poder reaccionar a las cambiantes circunstancias y evitar daños tanto para el entorno como el vehículo, considerando sus dimensiones y capacidad de carga. En la Sección

1.2 se dispone implementar un sistema de tracción eléctrico, por lo cual se procederá a analizar las disposiciones y principios de funcionamiento de los sistemas de tracción en Vehículos Eléctricos (EV por sus siglas en inglés).

2.4.1. Distribución de potencia de vehículos eléctricos

Un EV se puede definir como aquel que emplea un motor eléctrico en su sistema de tracción, el cual es alimentado por sistemas de almacenamiento de energía en lugar de combustibles fósiles (Ramos, 2020). Al emplear un motor eléctrico, el vehículo presenta ventajas como: la independencia a los combustibles fósiles, la anulación de emisiones de carbono y una mejor eficiencia energética. Los vehículos con motor de combustión interna presentan una eficiencia global alrededor del 30%, mientras que un EV que utilice una fuente de energía plenamente renovable alcanza valores de 77% de eficiencia (Sanz, 2015). No obstante, los EV tienen elevados costos debido a la utilización de materias de altos costos de procesamiento en su fabricación, como el neodimio y lantano.

Los vehículos completamente eléctricos presentan una arquitectura simple, conformada por las baterías como fuente de energización, un convertidor de potencia que regula el funcionamiento del motor en relación a velocidad y par requeridos, el o los motores eléctricos y la transmisión que suministra energía a las ruedas para propulsar al vehículo. En la Figura 2.13 se puede apreciar la estructura modular de un vehículo completamente eléctrico, que implementa un único motor y utiliza una batería como única fuente de potencia.

2.4.2. Grado de electrificación

Los vehículos eléctricos presentan otra clasificación basada en el grado de electrificación. Esto se define por el porcentaje de cantidad de potencia eléctrica disponible sobre la potencia total, como se muestra en la Figura 2.14.

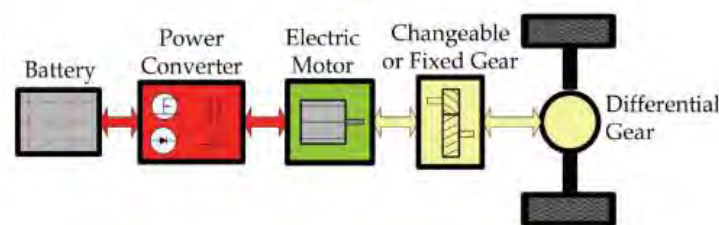


Figura 2.13: Vehículo eléctrico de batería de un motor (de Lucena, 2011)

Desde la clasificación de micro híbrido hasta completamente híbrido (full hybrid), se implementan elementos eléctricos como: motor de arranque, alternador o motor eléctrico secundario, en conjunto con motores de combustión. A partir de los vehículos PHEV (plug-in hybrid electric vehicle) se considera la utilización de baterías que pueden ser directamente recargadas al ser enchufadas a la red eléctrica.

Finalmente, se implementan motores eléctricos como suministro total de la potencia requerida para la tracción. Estos son llamados vehículos eléctricos de batería (BEV, en inglés). Como se aprecia en la Figura 2.14, este vehículo cuenta con el mayor grado de electrificación y permite una reducción total de emisiones y el mayor incremento de eficiencia, aunque a la actualidad presentan precios bastante elevados en comparación al resto de EV. Cabe mencionar que el campo de los BEV se encuentra en pleno desarrollo.

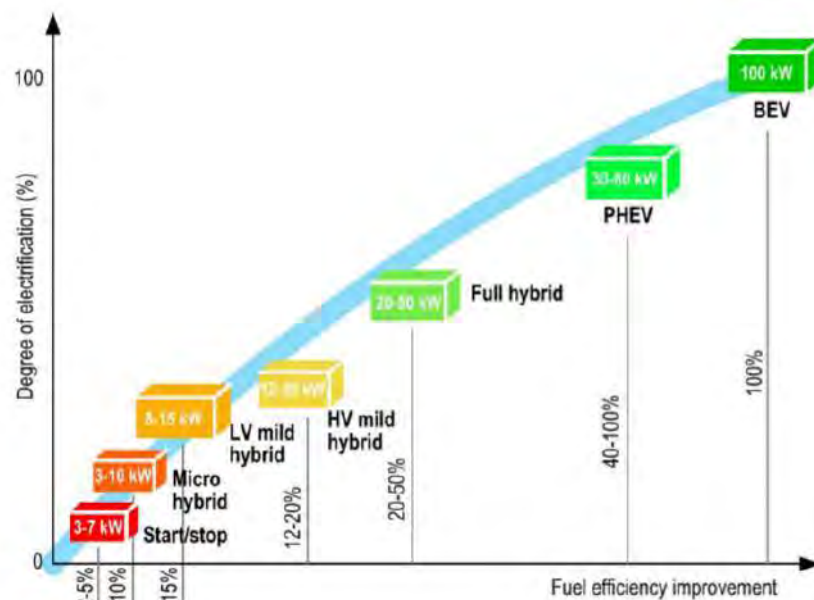


Figura 2.14: Grado de electrificación en vehículos (Bilgin et al., 2015)

2.4.3. Propulsión eléctrica

Los vehículos con tracción eléctrica requieren de una arquitectura capaz de transmitir potencia desde las baterías hacia las ruedas del vehículo de forma eficiente y controlada. Para esta conexión se propone una división modular como se muestra en la Figura 2.15.

Se reconocen elementos como el convertidor de potencia; encargado de transmitir energía eléctrica entre baterías y motor. También se presenta al controlador electrónico, el cual suministra la cantidad necesaria de intensidad de corriente que debe llegar a los motores. Finalmente,

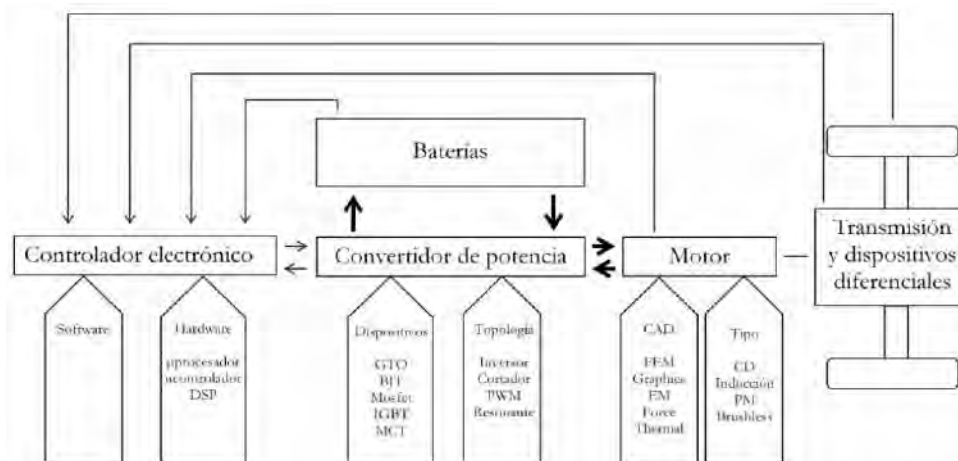


Figura 2.15: Diagrama de bloques funcional de propulsión en VE (Palafox, 2009)

se tiene a los motores como los principales elementos encargados de generar la propulsión del vehículo.

La evolución de los motores eléctricos ha sido lenta y larga, a diferencia de las ciencias de la electrónica y la computación. Sin embargo, su desarrollo es continuamente estimulado por la invención de imanes permanentes de alta energía (Palafox, 2009). Un motor eléctrico permite transformar energía eléctrica en energía mecánica de forma rotativa. Existe diversidad en cuanto a sus principios de funcionamiento, una de las características determinantes es el tipo de corriente que utilizan (continua o alterna). En la Tabla 2.3 se muestran los tipos de motores utilizados en la actualidad, en EVs vendidos por diferentes fabricantes.

Tabla 2.3: Motores utilizados en EV

Modelo EV	Motor de EV
Mazda Bongo	Motor DC paralelo
Ford Th!nk City	Motor de inducción
GM EV1	Motor de inducción
Honda EV Plus	Motor PMS
Nissan Altra	Motor PMS
Toyota RAV4	Motor PMS
Honda Civic	Motor PMS
Toyota Prius	Motor PMS
Tesla Y	PMS & Motor de inducción
Tesla Model 3	Motor síncrono
Tesla S	Motor de inducción

- Motor eléctrico de corriente continua

La rotación que suministra un motor de corriente continua (DC en inglés) está causada por el fenómeno de magnetismo. Los motores eléctricos cuentan con dos partes principales: *estator* y *rotor*. El estator genera un campo magnético permanente producido por imanes. Por otro lado, el rotor, que es la parte rotativa, está compuesto por espiras que conducen corriente eléctrica. El rotor conmuta el sentido de dicha corriente de forma mecánica. Al presentar corriente fluyendo por espiras inmersas en un campo magnético, se produce una fuerza de magnitud determinada de acuerdo a la Ley de Lorentz; esta fuerza genera rotación.

Existen variantes en los motores DC; como ejemplo, se tienen motores que conmutan sus devanados sin desgaste mecánico, denominados "brushless". Por otro lado, también se han desarrollado imanes permanentes (PM, en inglés) que generan el campo magnético constante, ello permite una mayor eficiencia y resta peso y espacio. Se tiene fiabilidad en su control, pues presentan relaciones lineales de velocidad-torque y corriente-torque.

En resumen, estos motores son simples en su configuración, de control y desempeño fiable. Sin embargo, suelen ser costosos y de complejo mantenimiento. En el sector automotriz se utilizan los motores DC con imanes permanentes.

- Motor eléctrico de corriente alterna síncrono

En este tipo de motores se toma ventaja de la naturaleza de la corriente alterna, que posibilita la conmutación constante y permite obtener un campo magnético giratorio en el estator. El rotor puede presentar un imán permanente y así seguir al campo del estator, generando movimiento en el eje. Esta atracción entre polos opuestos fomentará una velocidad de sincronismo rotativa determinada por la siguiente expresión, donde f es la frecuencia del estator, y p el número de polos en el estator:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p}$$

Las dos principales variaciones de este motor se presentan en el rotor. Este puede ser un rotor bobinado que funciona como electroimán por el flujo de corriente en su bobinado. También, se han conseguido avances significativos en los motores síncronos de imán permanente (PMS), siendo más sencillos de forma constructiva y con menor consumo de corriente. Este tipo de motor es de los más utilizados en la industria automotriz. Los motores síncronos pueden trabajar con cargas variables a una velocidad constante. Adicionalmente, se puede obtener un confiable control de velocidad con variadores de frecuencia; aunque no presentan la precisión de un motor DC. Este tipo de motores presentan alta

densidad de potencia, buena eficiencia y menor calentamiento. Como desventaja, presentan costos elevados.

- Motor eléctrico de corriente alterna asíncrono

Los motores asíncronos presentan un campo magnético giratorio en el estator y un rotor en el cual se induce una corriente eléctrica, sobre bobinas o barras cortocircuitadas. Esta corriente inducida provocará un campo magnético que será atraído por el estator. Sin embargo, existe un desfase en cuanto a la velocidad giratoria del rotor y estator, ello permite la inducción de campo magnético. Existen variaciones en el rotor de un motor síncrono, pudiendo ser bobinado o conformado por barras cortocircuitadas. Este último tipo de motor asíncrono es el más utilizado en la industria automotriz, presenta un bajo costo, un fácil arranque, poca necesidad de mantenimiento y es capaz de trabajar en ambientes hostiles; sin embargo, sus métodos de control son menos precisos.

Finalmente, se aprecia en la Figura 2.16 una evaluación realizada a los motores de propulsión eléctrica para EV (motor DC, Motor AC asíncrono de inducción (IM) y motor síncrono de imán permanente (PM), de acuerdo a sus características principales.


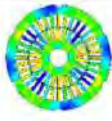
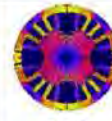



<i>Propulsion Systems</i>			
<i>Characteristics</i>	DC	IM	PM
<i>Power Density</i>	2.5	3.5	5
<i>Efficiency</i>	2.5	3.5	5
<i>Controllability</i>	5	5	4
<i>Reliability</i>	3	5	4
<i>Technological maturity</i>	5	5	4
<i>Cost</i>	4	5	3
Σ Total	 22	 27	 25

Figura 2.16: Evaluación de motores de tracción eléctrica (Zeraoulia, Diallo, & Benbouzid, 2006)

2.5. Fuente de energización

Las baterías son la forma más fiable para almacenar energía debido a la facilidad para convertir energía eléctrica en química y viceversa, si necesidad de una red. Sin embargo, la autonomía de las baterías en EV actualmente no alcanza los valores deseados o va decreciendo a medida que se deteriora. Por lo cual, los fabricantes siguen desarrollando tecnología para alcanzar desempeños competitivos.

Existen diferentes componentes químicos utilizados en las baterías. En el sector automotriz, las baterías de Níquel Metal Hidruro se utilizaron como la mejor alternativa por años; sin embargo, en la penúltima década se ha incrementado la demanda de mayor densidad energética, por lo cual las baterías compuestas por ion de litio se presentan como una alternativa competente. Se puede apreciar en la Tabla 2.4 las características de energización de los EV del mercado.

Tabla 2.4: Características energéticas principales, de EV en el mercado (Soylu, 2011)

Marca	Modelo	Capacidad (kWh)	Alcance (km)	Consumo (kWh/100km)
Audi	e-Tron EV	42.40	248	17.10
BMW	MINI-E	35.00	180	19.44
BYD Auto	BYDe6	72.00	400	18.00
Chery	S18 EV	15.00	135	11.11
Chrysler	Dodge Circuit EV	26.00	175	14.86
Fiat	500	22.00	113	19.53
Ford	Transit Connect	24.00	160	15.00
Mercedes	SLS eDrive	48.00	160	30.00
Peugeot	iOn	20.00	140	14.29
Tesla	Model S	55.00	300	18.33

2.5.1. Principio de funcionamiento

Una batería eléctrica presenta tres partes principales. Cuentan con un electrodo positivo acompañado de uno negativo, entre los cuales existe diferencia de potencial eléctrico. Entre estas partes se encuentra un electrolito con comportamiento aislante. En el proceso de descarga de una batería, el electrodo positivo cumple como cátodo, y su contra parte, como ánodo. Se produce la reacción química de oxidación en el ánodo y la de reducción en el cátodo. Cuando se conecta una carga eléctrica, el electrolito permite la circulación de corriente a través de la batería y la carga conectada. Este flujo de corriente provoca transformación en la composición original de los electrodos, haciendo que se asemejen; como consecuencia, perdiendo potencial eléctrico. Para revertir este fenómeno, en el proceso de carga se suministra corriente a las baterías de

forma inversa, con objetivo que los materiales originales sean recuperados.

Existen dos clases de baterías: la batería denominada primaria, que no pueden renovarse; y las baterías secundarias, que permiten el flujo de corriente eléctrica en sentido inverso con objetivo de recuperar su potencial. En la Tabla 2.5, se listan las baterías utilizadas por fabricantes de EV; a continuación, se exponen las tecnologías de baterías utilizadas para energizar vehículos eléctricos.

Tabla 2.5: Características energéticas principales, de EV en el mercado (Soylu, 2011)

Fabricante	País	Modelo	Tecnología de batería
GM	USA	Chevy-Volt Saturn Vue Hybrid	Ion-Li NiMH
Ford	USA	Escape, Fusion, MKZ HEV Escape PHEV	NiMH Ion-Li
Toyota	Japón	Prius, Lexus	NiMH
Honda	Japón	Civic, Insight	NiMH
Hyundai	Korea del Sur	Sonata	Polímero de litio
Chrysler	USA	Chrysler 200C EV	Ion-Li
BMW	Alemania	X6 Mini E	NiMH Ion-Li
Daimler Benz	Alemania	ML450, S400 Smart EV	NiMH Ion-Li
Mitsubishi	Japón	iMiEV	Ion-Li
Nissan	Japón	Altima Leaf EV	NiMH Ion-Li
Tesla	USA	Roadster	Ion-Li

■ Batería de NiMH

Las baterías de Níquel Hidruro Metálico fueron presentadas en la última década del siglo XX. Tienen como principal característica la utilización de hidróxido de níquel como ánodo y un cátodo de aleación de hidruro metálico. Este tipo de baterías se vieron impulsadas por el desarrollo de dispositivos electrónicos. Cuentan con una considerable densidad de energía; no obstante, como limitantes presentan un proceso de fabricación costoso y extenso, junto con su alta razón de auto-descarga.

■ Batería de Li-ion

Las características del Litio, como su alto potencial negativo y su bajo peso atómico, permiten fabricar baterías de alta autonomía. Al considerar dos baterías de la misma cantidad de energía, una de NiMH y otra de Li-ion, la segunda resulta un 40% más pequeña y con

un peso de la mitad. Adicionalmente, presentan un elevado potencial por celda (hasta 3.7 V) y no requieren de mantenimiento. Otra ventaja de estas baterías es la rápida reversibilidad del litio, permitiendo que se puedan cargar más rápido que el resto. Como desventajas, estas baterías necesitan implementar un circuito de seguridad para mantener los límites de voltaje, tienen un precio superior y las limitaciones que genera el carácter altamente reactivo del Litio.

- **Batería de Polímero de Litio**

Las baterías de polímero de litio se caracterizan por utilizar un polímero sólido como electrolito, el cual tiene una fácil fabricación y permite obtener baterías con grosores de 1mm. Sin embargo, emplear este material también presenta desventajas relacionadas a su baja conductividad, provocando calentamientos excesivos. Se considera que esta química particular de las batería tiene uno de los mayores potenciales para la más alta energía específica y potencial (Triana, 2019). Este tipo de baterías proporciona alta densidad energética y tampoco requiere de mantenimiento; no obstante, también necesitan de un circuito de seguridad y es una tecnología que se encuentra aún en desarrollo.

Finalmente, en la Tabla 2.6 se muestra una comparación con las principales características de las tres baterías analizadas.

Tabla 2.6: Comparativa de diferentes baterías (Peña, 2011)

Tecnología	NiMH	Ion-Li	Pol. de Li
Voltaje (V/Celda)	1.2	3.6/3.7	3.7
Auto-descarga (%/mes)	30	8	5
Dificultad mantenimiento	Regular	Fácil	Fácil
Ciclos de vida	300-500	400-1200	>1000
Densidad energética (Wh/l)	140-300	250-360	300
Potencia específica (W/Kg)	250-1000	250-340	7100
Eficiencia Carga/Descarga	66 %	80 %-90 %	99.8 %
Tolerancia a sobrecarga	Media	Muy mala	Muy mala
Robustez a impactos	Buena	Muy mala	Muy mala
Resist. altas temperaturas	Buena	Muy mala	Muy mala
Seguridad	Muy buena	Muy buena	Buena
Formato	Cilíndrico	Prisma	Prisma

2.6. Análisis de productos automatizados

Existe gran cantidad de sectores que están optando por automatizar sus procesos para poder mejorar su rendimiento y producción; tales como manufactura, ensamble de diferentes máquinas, la producción de diversos bienes, entre otros. La minería es en la actualidad, una actividad que está siendo adaptada para poder implementar la automatización a sus procesos.

2.6.1. Automatización en minería

A nivel mundial, las mineras se encuentran en una búsqueda por unificar sus sistemas aislados para conseguir un buen desempeño. La automatización y digitalización en minería tiene como objetivo principal el incremento de productividad, como la disminución de costos y riesgos. En el Perú, existe un desarrollo constante de automatización e innovación en las diferentes compañías mineras y sus proveedores de tecnologías. La compañía ABB tiene bajo responsabilidad, proyectos de automatización en la planta de Southern Peru Toquepala, como también se encuentra implementando proyectos de expansión y mejora tecnológica. Por otro lado, la compañía de gestión de energía EATON señala que existen diferentes procesos mineros con creciente demanda de automatización; mencionando como ejemplo, la actividad que tiene relación con inserciones/extracción de interruptores de potencia (Rumbo Minero, 2019).



Figura 2.17: Sistema para camión AutoMine Lite (SANDVIK, s.f.)

Teniendo en cuenta los avances alcanzados en vehículos autónomos, estos han motivado a aplicar esta tecnología en maquinaria pesada que no necesite de un tripulante y pueda ser teleoperada. La compañía Sandvik cuenta con sistemas de teleoperación y automatización en su catálogo de servicios. Estos equipos son una óptima alternativa para la operación en minas subterráneas, debido a la gran cantidad de limitaciones presentes en este tipo de minería. Asimismo, la unidad minera Quellaveco en Moquegua, cuenta a la fecha con con 28 camiones autónomos CAT con objetivo de impulsar la automatización de su estrategia denominada "Future Smart Mining".

Por otro lado, los fabricantes de maquinaria pesada presentan interés por implementar tracción eléctrica en sus vehículos, de la mano con el creciente compromiso ambiental. Como ejemplo se tiene a los camiones mineros con tracción eléctrica KOMATSU. Estos cargadores implementan una configuración híbrida en serie, lo cual permite proveer de grandes cantidades de potencia a los VC, teniendo una mayor eficiencia y menor cantidad de emisiones.

2.6.2. Prototipos de vehículos autónomos

Los cargadores tele operados con tracción eléctrica son analizados como productos existentes. El primer diseño es un prototipo desarrollado por Volvo, denominado HX02. El prototipo cuenta con propulsión eléctrica y operación autónoma. Una combinación que ilustra cómo serán los sistemas de transporte del futuro, según Volvo. Este vehículo emplea baterías eléctricas y un sistema de visión por computadora para evitar accidentes. El HX02 está adaptado para poder seguir cualquier ruta de forma pre programada, implementa dos motores eléctricos para accionar las ruedas en ambos sentido, el sistema hidráulico es accionado por un motor eléctrico que permite precisión en las tareas de dirección y descarga; y las baterías, con un tiempo de recarga de 01 minuto, otorgan autonomía por 08 minutos de operación. Todo lo mencionado es implementado en un diseño compacto como se puede apreciar en la Figura 2.18.

Como segundo producto se tiene al IAHV de Komatsu, mostrado en la Figura 2.19, el cual es un camión minero de gran escala que implementa un complejo sistema de cámaras, radares y sensores. Este vehículo es controlado de forma remota y su utilización está siendo programada para actividades nocturnas; tiene una longitud de 15 metros y una capacidad de carga útil de 230 t. Este cargador implementa tracción eléctrica.



Figura 2.18: Inspección de Volvo HX02 en Las Vegas convention (Nikkei Asia, 2019)

Habiendo analizado los productos existentes, se muestra en la Tabla 2.7 las principales características de cada uno.



Figura 2.19: Presentación de Komatsu en MINExpo (KOMATSU Latinoamérica, 2016)

Tabla 2.7: Comparación de cargadores eléctricos automatizados

Modelo	Volvo HX02	Komatsu IAHV
Capacidad de carga	15 Tn	230 Tn
Potencia útil	Sin info.	2014 kW
Máxima velocidad	64 km/h	40.2 km/h
Largo	5.45 m	15 m
Ancho	2.5 m	8.5 m
Operación	Autónomo	Teleoperado
Distrib. de potencia	BEV	HEV

2.7. Investigaciones académicas y patentes

Complementando las bases teóricas y productos comerciales, se revisan investigaciones académicas que prueban el desempeño de ruedas Mecanum para terrenos irregulares y 2 patentes de vehículos con ruedas Mecanum destinados para minería.

En primer lugar, se analiza el MarsCruiserOne (Ramson, Kromer, Luckmeiet, 2008) como el diseño de un vehículo con ruedas Mecanum diseñado para desplazarse en terrenos extremadamente irregulares y superficies suaves. Esta investigación realizó una prueba con un vehículo a escala atravesando superficies pavimentadas, canto rodado y diferentes irregularidades de terreno. Obtuvieron los resultados resumidos en la tabla 2.8, siendo relevantes para comprobar el desplazamiento de un vehículo con ruedas Mecanum en diferentes terrenos irregulares. Adicionalmente se realizaron pruebas para verificar que el vehículo puede escalar peldaños del 40 % del diámetro de la rueda y desplazarse por pendientes de 10° , pudiendo cumplir con todas las direcciones de traslación y rotación sobre el propio eje. La única limitante encontrada es el des-

plazamiento lateral cuando los rodillos no tienen suficientes puntos de tracción o se encuentran enterrados en un 60% de su propio diámetro.

Como segunda investigación se considera el trabajo de Ramirez-Serrano, Kuzyk y Solana (2010), donde se propone un tipo de rueda Mecanum para mejorar el desempeño en terrenos arenosos y rocosos, sobretodo mejorando el desempeño para desplazarse lateralmente. El diseño propuesto es una rueda elíptica doble que consigue un mejor desempeño aunque implica un diseño complejo y de gran espacio. Sin embargo, al realizar la simulación y pruebas se resalta la importancia implementar una correcta suspensión para poder proveer la tracción necesaria cuando se trabaja con ruedas Mecanum regulares.

Se encuentran 2 patentes de vehículos que utilizan ruedas Mecanum para trabajar en actividades relacionadas a minería. El primer vehículo con patente CN216278009U (Ma Ruiyang et al., 2022) tiene como objetivo realizar inspecciones de los gases en socavones de minas de carbón. Se indica que el equipo ha sido probado obteniendo resultados útiles para aumentar la seguridad de los trabajadores al realizar una inspección rápida aprovechando el desplazamiento omnidireccional en los socavones de complejo acceso y desplazamiento. Por otro lado, la segunda patente CN219096580U (Ren Wangxue et al., 2023) es un vehículo con ruedas Mecanum utilizado para colocar cubiertas de lona sobre vehículos mineros, aprovechando su fácil maniobra y complementando su rapidez con el corte manual de cada cubierta. Ambos equipos implementan ruedas Mecanum y tienen como objetivo trabajar en zonas de complejo acceso y superficies irregulares.

En base a lo revisado, se toma como zona objetivo de trabajo las superficies afirmadas en minería que se puedan encontrar cerca del chancado primario, para que el vehículo pueda hacer el transporte y descarga en suelos afirmados y ligeramente suaves, con baja velocidad (máximo 30 km/h) y pendientes mínimas (máximo 10%). Por otro lado, se considera seleccionar la suspensión y carga adecuados, que permitan tener buena tracción sin llegar al enterramiento de los rodillos.

Tabla 2.8: Pruebas de desplazamiento en diferentes terrenos

	Desplazamiento longitudinal	Desplazamiento transversal	Giro sobre propio eje	Desplazamiento diagonal
Superficie pavimentada	OK	OK	OK	OK
Suelo blando y muy rugoso	OK	Desplazamiento lento	OK	-
Canto rodado	OK	Imposible	OK	OK
Suelo arenoso y áspero	OK	Desplazamiento corto	OK	-

CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL

En este capítulo se desarrolla la primera fase del diseño del prototipo de vehículo eléctrico omnidireccional tele operado. En primer lugar, se presentan los requerimientos que permiten cumplir con los objetivos propuestos. A continuación, se definen las funciones y estructuras para implementar dichos requerimientos. Luego, usando una matriz morfológica, se realiza una evaluación técnica y económica de los diferentes principios y funciones para definir el concepto de diseño óptimo.

3.1. Requerimientos del sistema

El prototipo objetivo del presente trabajo debe implementar: un sistema de desplazamiento omnidireccional, una estructura robusta, debe ser propulsado por energía eléctrica, contar con un sistema de teleoperación para controlar el desplazamiento y la descarga del mismo, y un sistema anti colisión. Adicionalmente, la zona objetivo para trabajo del vehículo son suelos afirmados y uniformes, idealmente las zonas de acarreo cerca al chancado primario, donde el suelo es más uniforme y no se presenten pendientes pronunciadas, de forma que no se afecte el desempeño de las ruedas omnidireccionales. Se adjunta la lista completa de requerimientos realizada acorde con la metodología VDI 2221 en el Anexo A.

Se consideran los siguientes requerimientos físico-mecánicos:

- Considerando al Volvo HX02 como escala de referencia, se define que las dimensiones del vehículo no deben exceder los 4.5m de largo y 2m de ancho; se limita la velocidad máxima a 30 km/h, valor considerado seguro para el tránsito en calles y jirones.
- El vehículo omnidireccional debe poder trasladarse y rotar de forma inmediata a cualquier punto en el mismo plano que las ruedas.

- Se limita que el vehículo debe soportar y transportar cargas de hasta 6t; además, debe realizar el proceso de descarga sin presentar volcadura.
- El vehículo debe presentar un sistema de suspensión capaz de soportar y distribuir un peso bruto total de 30 t. Se considera que la transmisión debe priorizar el torque.
- Los materiales a utilizar en la fabricación del chasis son: secciones principales de acero HSLA, con resistencia aproximada de 500 MPa y piezas de fundición dúctil con resistencia aproximada a los 400 MPa.
- El vehículo debe ser capaz de operar en condiciones de minería: altura entre 3500-5000 msnm, temperatura de 0-20°C y humedad relativa máxima de 85 %.
- El mantenimiento preventivo corresponde al sistema de izaje y el circuito de electrónica de potencia. Se considera un mantenimiento realizado cada 200 h de operación. El diseño del vehículo toma en cuenta un fácil acceso para los sistemas de energización, izaje y suspensión.

Se consideran los siguientes requerimientos electrónicos, eléctricos y de control:

- Utilizar energía eléctrica al menos en el 80% del total requerido. Adicionalmente, el sistema de energización debe ser capaz de suministrar 40 kW/h.
- Contar con algoritmo de control para el desplazamiento, permitiendo seguir trayectoria óptima. Además, contar con un protocolo de anti colisión.
- El circuito de potencia debe asegurar el control de los motores en todo momento, también se debe contar con información de temperatura de sus componentes.
- En el mando/módulo de tele operación se deben visualizar indicadores en tiempo real del sistema. Adicionalmente, el vehículo emite señales que alertan al entorno.
- El sistema permite ingresar señales que controlen el desplazamiento, descarga, estado on/off y parada de emergencia. Las señales medidas serán: estado on/off, velocidad, temperatura de componentes, proximidad del entorno, ubicación relativa (odometría), nivel de energía y nivel de carga en tolva.
- El protocolo de comunicación debe permitir una distancia máxima de 80 m lineales entre vehículo y mando/módulo, y una velocidad de transmisión de 20 Mbps.

3.2. Estructura de funciones

Se procede a definir la estructura de funciones del vehículo. Primero se presenta al sistema como una caja negra con entradas y salidas. Luego se identifica los sistemas necesarios para cumplir con los requerimientos y se define la interacción entre estos. Finalmente, se presenta una estructura de funciones total, detallando cada función y sus relaciones.

Se muestra el modelo de Caja Negra en el Anexo B. En este primer nivel de abstracción solo se consideran las señales que ingresan y salen del sistema, sin tomar en cuenta las funciones. Las señales de entrada son ingresadas por el operario y las señales de salida brindan información del sistema al operario y entorno. La energía que ingresa al sistema se divide en: la energía eléctrica para la tracción del vehículo y la energía mecánica en forma de impactos y vibraciones. Adicionalmente, se considera que el sistema retorna energía al entorno como ruido, vibraciones y calor. Finalmente, la materia que intercambia el sistema con el entorno es el material de carga (arena, mineral, entre otros), en adición con el polvo y agua del ambiente.

Continuando con la metodología, se plantea una estructura de funciones principal. En este segundo nivel, se puede identificar los principales módulos que componen al sistema, y la relación entre estos y su entorno. Dichos módulos se definen tomando en cuenta el Estado de la Tecnología. Cada módulo tiene una función principal que se detalla en el siguiente nivel. Se muestra la Estructura principal de funciones en el Anexo B.

Finalmente se muestra la Estructura total de funciones en el Anexo B. En este nivel se detalla la disposición de todas las funciones necesarias, sus relaciones internas, externas (con otros módulos) y con el entorno. Se describe cada módulo:

- **Interfaz.** Interactúa con el operario, el vehículo y el entorno. Recibe señales de control ingresadas por el operario para transmitir las al sistema correspondiente. También, recibe señales medidas (velocidad o proximidad) para mostrarlas al operario. Además, acciona luces y sonidos para informar al entorno.
- **Anti colisión.** Previene accidentes y cuenta con dos rutinas: Prevención y emergencia. En prevención, el entorno está a una distancia de 3 m, el vehículo emite sonidos de prevención e informa al operario, hasta salir del rango. En emergencia, el rango es de 1.5 m, se indica el estado a través de la interfaz y se fuerza la detención del vehículo.
- **Control de desplazamiento.** Controla los motores según el desplazamiento deseado por el operario. Obtiene las señales de accionamiento óptimas para cada motor usando las ecuaciones de dinámica directa; para luego ser enviadas al circuito de potencia. También, recibe información como velocidad y posición, que serán emitidas a la interfaz.

- Izaje. Recibe la señal de accionamiento de la descarga para controlar los cilindros que generan el levantamiento de la tolva.
- Transmisión de potencia. Se recibe la energía eléctrica de las baterías y las señales del control de desplazamiento, para amplificar señales y accionar los drivers de cuatro motores.
- Desplazamiento. El presente bloque considera los cuatro motores eléctricos y sus drivers, recibiendo alimentación y señales de control. De este sub sistema se obtiene la velocidad y ubicación. Por otro lado, el desplazamiento genera vibraciones y ruido. Adicionalmente, es necesario estabilizar el desplazamiento con un sistema de suspensión.
- Suspensión. La suspensión provee de estabilidad, tanto al desplazamiento como almacenamiento. También sostiene todos los componentes y amortigua impactos.
- Almacenamiento. El módulo de almacenamiento transmite y soporta el izaje. Asimismo, recibe material y lo retorna como material transportado, y además considera la utilización de sensores para indicar el nivel de almacenamiento.
- Energización. El módulo de energización suministra energía eléctrica a los sistemas e iluminación del vehículo. Este sistema controla la energización como on/off, y también permite saber el nivel de carga de las baterías.

3.3. Matriz morfológica

Teniendo en cuenta las funciones definidas y los principios de funcionamiento revisados en el Estado de la Tecnología, se realiza una matriz morfológica, mostrada en el Anexo C. En esta se presentan se consideran los diferentes principios de funcionamiento para cada función, estos serán agrupados en diferentes conceptos de solución. Se han unido secuencialmente utilizando flechas según leyenda de la Figura 3.20.




Concepto de solución 1	
Concepto de solución 2	
Concepto de solución 3	

Figura 3.20: Leyenda - Soluciones en matriz morfológica

En primer lugar, se muestra la sección Interfaz en el Anexo C. Para interactuar con el operario se considera: un radio controller, con joysticks, botones y luces; o un centro de mando,

con pantalla, teclado y joystick. Luego, se contempla transmitir la información por conexión alámbrica, inalámbrica o utilizando cable radiante, similar a una antena de flexible extensión. Finalmente, se utilizan luces y altavoces para interactuar con el entorno.

Luego se presenta el Sistema anti colisión - emergencia. Se considera la detección de obstáculos implementando sensores de distancia: sensor de ultrasonido, con rango de 5m y costo bajo; o un sensor láser, con rango de 10m y costo elevado (\$250 aprox). Para la comparación entre situación preventiva o emergencia se considera implementar un circuito comparador analógico o usar un módulo de comparación en el controlador.

Para el Control del desplazamiento del Anexo C, se calcula la trayectoria óptima resolviendo ecuaciones con álgebra matricial. Para controlar sensores y actuadores se propone un microcontrolador o PLC. Además, para medir velocidad y ubicación se considera: utilizar una Unidad de medición inercial con datos de aceleración y rotación, o medir la velocidad de las ruedas utilizando un encoder. Finalmente, el control de velocidad será PID para un desplazamiento sin error y preciso.

Para la sección Transmisión de potencia se utiliza un Controlador Curtis, el cual integra un circuito de potencia y control (utilizado con vehículos eléctricos). Cuenta con 7 terminales, 4 para recibir energía de las baterías, y el resto para señales analógicas (aceleración, estado on/off, temperatura). Es necesario enfriar los componentes eléctricos. Se propone utilizar refrigerante o un disipador con ventilador.

Para el sistema de Locomoción se considera utilizar: motor DC, motor Síncrono de imanes permanentes o motor de inducción. También se utiliza ruedas Mecanum, tomando en cuenta el buen rendimiento con respecto a la tracción y capacidad de carga de estas ruedas.

El sistema de Izaje implementa un circuito hidráulico completo (bomba, cilindros, tanque y válvulas). Los conceptos de solución consideran simple o doble efecto en los cilindros. Se muestran los componentes en Izaje, Anexo C.

El sistema de Almacenamiento considera utilizar mecanismo de pivote accionado por uno o dos cilindros. La tolva puede tener piso plano o con doble pendiente, en función al material a transportar. Por último, para medir el nivel de carga se puede utilizar sensores de distancia, fuerza, o combinación de ambos.

En relación a la sección Suspensión, se propone utilizar el chasis utilizado en vehículos de minería. Para amortiguar impactos y mantener estabilidad se contempla: en primer lugar, utilizar amortiguadores hidráulicos; como segunda opción muelles y ballestas (usados en volquetes y camionetas); o finalmente una suspensión hidro neumática (tecnología reciente para cargadores).

Para la Energización se toma en cuenta las tecnologías de baterías expuestas. Para permi-

tir/bloquear la energización se propone usar un circuito relé o también un contactor, utilizados para controlar energización en vehículos eléctricos. Finalmente, para medir el nivel de carga de las baterías, se utiliza los sensores del controlador Curtis, o un sensor de monitoreo de baterías (considera su temperatura). Se muestran las tecnologías en sección Energización en Anexo C.

Para encontrar el concepto de solución óptima se procede a realizar la evaluación técnico-económica de las soluciones expuestas.

3.4. Conceptos de solución y evaluación

En esta sección se describe el funcionamiento de cada concepto de solución y sus características particulares, mencionando los componentes presentes en cada solución. Luego, se realiza la evaluación técnico-económica para definir el concepto óptimo.

3.4.1. Concepto de Solución 1

La primera solución utiliza un radio controller, mostrado en Figura 3.22, como interfaz; implementa joystick, luces led, botones y buzzer, que permiten intercambiar información en un dispositivo compacto. Adicionalmente, se propone un control a distancia (mínimo 50 m), utilizando una conexión inalámbrica con una velocidad mínima de transmisión de 20 Mbps. Por otro lado, el sistema implementa sensores de ultrasonido dispuestos según Figura 3.24, para identificar objetos en 10 direcciones (rango de 45°).

Los sensores cuentan con un rango máximo de detección de 3m. Para la locomoción se utiliza un motor de inducción y ruedas Mecanum (comunes para las tres soluciones). Como amortiguación se usan cilindros hidráulicos y un chasis con sección en caja (común para las soluciones); su disposición preliminar se presenta en la Figura 3.21. El sistema de izaje está conformado por dos cilindros de simple efecto posicionados según Figura 2.12, elevando la tolva de piso plano. Este concepto integra un microcontrolador.

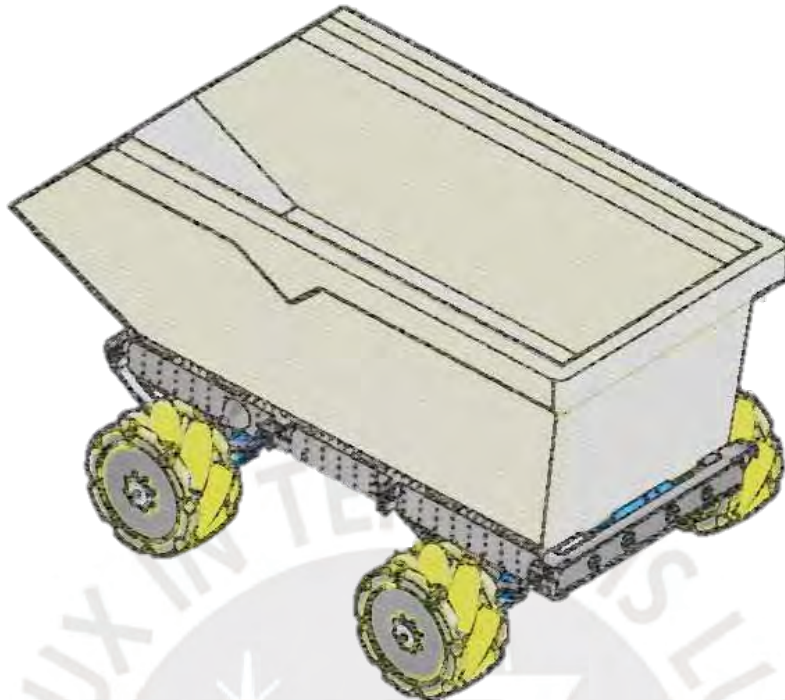


Figura 3.21: Vista general de disposición de tolva, chasis, ruedas Mecanum y suspensión



Figura 3.22: Radio controller

Para medir el nivel de almacenamiento de la tolva se usan sensores de ultrasonido. Este método de medición se presenta en la Figura 3.23 con los sensores apuntando diagonalmente al centro de la tolva y dispuestos cubriendo toda su longitud. Finalmente, se utilizan baterías de NiMH con contactores, estas baterías alimentan al controlador Curtis, el cual es enfriado con un disipador de calor y ventilador.

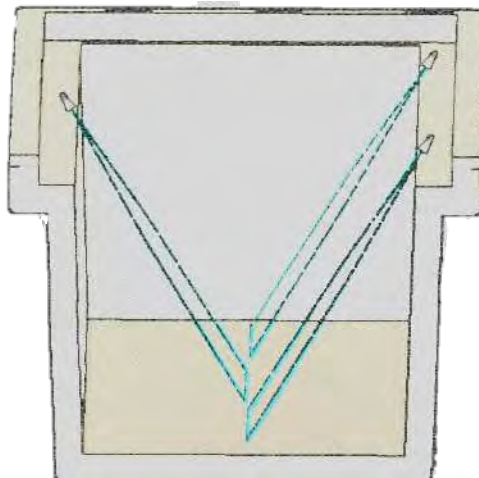


Figura 3.23: Método para medir nivel de carga de la tolva con sensor infrarrojo

3.4.2. Concepto de Solución 2

La solución 2 tiene como interfaz al centro de mando conectado de forma alámbrica al vehículo. La pantalla propuesta se presenta en la Figura 3.25. Además, utiliza únicamente un cilindro de doble efecto para el izaje.

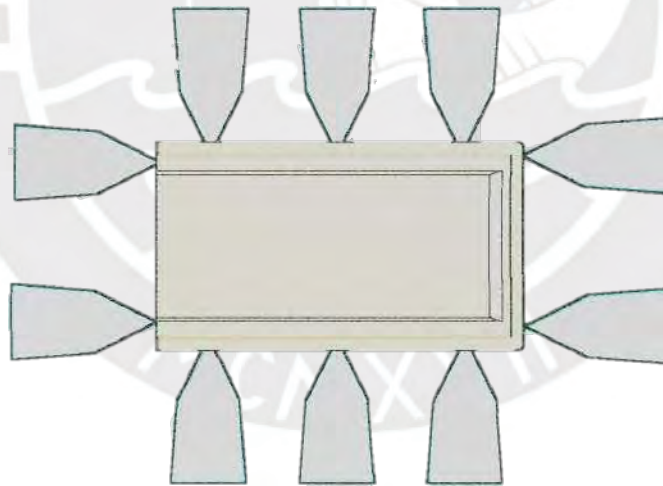


Figura 3.24: Sensores de ultrasonido para detectar entorno cercano

Se incorpora un PLC como controlador, el nivel de almacenamiento se mide con un sensor de fuerza. Esta solución considera utilizar motores síncronos (PM), baterías de Li-Ion y suspensión con muelles planos y amortiguadores.

Finalmente, también se cuenta con un contactor, 10 sensores de ultrasonido dispuestos 3 a cada lado y 2 en parte frontal y trasera (Figura 3.24), ruedas Mecanum y controlador Curtis.

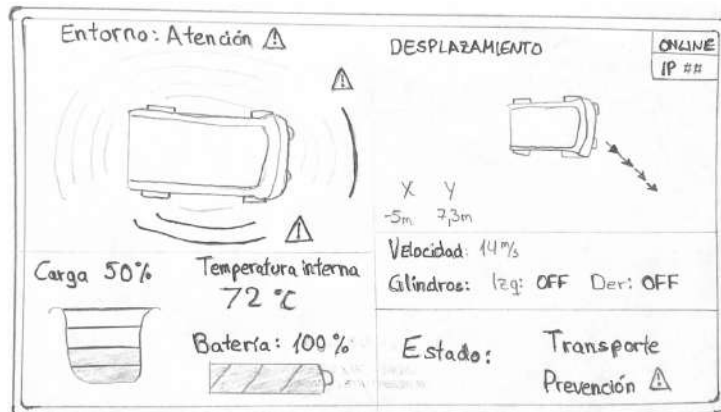


Figura 3.25: Pantalla de centro de mando

3.4.3. Concepto de Solución 3

La solución final utiliza cable radiante para intercambiar información con el centro de mando del operario (Figura 3.25), también considerando un PLC. Esta solución implementa sensores láser, con mejor precisión y rango de alcance para medir el entorno. Asimismo, para el nivel de almacenamiento se utilizan sensores de ultrasonido y fuerza. Finalmente, esta solución emplea motores DC, baterías de Polímero de Litio, suspensión con cilindros hidro neumáticos, refrigeración líquida y un sensor externo para medir el nivel de baterías. Para el izaje se utilizan dos cilindros de doble efecto. La presente solución se realizó considerando un diseño a todo costo, por lo cual emplea elementos con mejor calidad o combinando elementos de anteriores soluciones.

3.4.4. Evaluación técnico-económica

Se realiza la evaluación técnico-económica considerando la metodología VDI 2225, la cual requiere definir un valor G según la importancia del criterio evaluado y un puntaje P relacionado a la satisfacción de cada criterio, considerando 4 como un puntaje excelente y 0 como deficiente.

Para la evaluación técnica se consideran los criterios con mayor relevancia (G=4): en primer lugar, el buen manejo de energía para un vehículo eléctrico está relacionado a priorizar la autonomía de las baterías y eficiencia de motores. Por otro lado, la seguridad para el entorno, la durabilidad del vehículo y el grado de contaminación del medio ambiente, son los criterios con mayor importancia.

En contraste, los criterios con menor importancia son: La rapidez del vehículo (G = 1) pues no se da prioridad a la velocidad; la oportunidad de fabricación (G = 2), pues se utilizan elementos complejos de fabricar. El resto de criterios son considerados importantes pero no necesarios

(G = 3): la estabilidad del vehículo, la fácil manipulación y la facilidad de mantenimiento. Estos criterios no afectan las principales funciones del vehículo. En la Figura 3.26 se muestran los puntajes asignados a cada solución.

EVALUACIÓN DEL SISTEMA MECATRÓNICO										
VALOR TÉCNICO (Xi)										
Proyecto: Vehículo omnidireccional tele operado para carga pesada en minería										
Conceptos de solución			C.S.1		C.S.2		C.S.3		C.S. Ideal	
No.	Criterios técnicos	G	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP
1	Buen uso de fuerza y/o energía	4	2	8	3	12	2	8	4	16
2	Seguridad	4	1	4	3	12	3	12	4	16
3	Rapidez	1	1	1	2	2	3	3	4	4
4	Estabilidad	3	2	6	3	9	3	9	4	12
5	Peso reducido	3	1	3	2	6	3	9	4	12
6	Fácil manipulación/manejo	3	2	6	3	9	3	9	4	12
7	Durabilidad	4	1	4	3	12	2	8	4	16
8	Posibilidad de automatización	3	2	6	2	6	2	6	4	12
9	Grado de contaminación al medio ambiente	4	2	8	3	12	2	8	4	16
10	Oportunidad de fabricación	2	2	4	2	4	1	2	4	8
11	Mantenimiento simple	3	2	6	3	9	2	6	4	12
12	Forma (compacto)	3	1	3	1	3	2	6	4	12
13	Simplicidad en implementación	3	2	6	2	6	1	3	4	12
Suma total			65		102		89		160	
Ponderado técnico			0.41		0.64		0.56		1	
Orden			3		1		2		-	

Figura 3.26: Evaluación técnica de conceptos de solución

El uso de energía ha sido calificado considerando las eficiencias de motor y batería, (Figura 2.16 y Tabla 2.6); el CS 2 (motor síncrono y batería de Ion Li) tiene mayor puntaje, y a los siguientes CS se les califica con menor valor (P = 3 y 2). Para evaluar seguridad, se considera la suspensión del vehículo y método de medición del entorno; considerando a CS 2 y 3 con mayor puntaje (P = 3). Por otro lado, se otorga mayor puntaje a la solución que implementa una mejor densidad energética (W/Kg) evaluando el peso reducido; el CS 3 con mejor puntaje que CS 2 y 1. Evaluando el fácil manejo, se otorga mayor puntaje a los CS que integran centro de mando; mientras que la durabilidad se ha calificado en relación a los ciclos de vida de las baterías (Ion Li/CS 2 presenta mayor puntuación, seguida por CS 3 y CS 1). Considerando el impacto ambiental, el mayor puntaje es para CS 2 que requiere menos piezas y genera menor cantidad de residuos. Respecto al mantenimiento, el motor de imanes permanentes junto con batería de IonLi (CS 2) tienen el mayor puntaje (P=3). Finalmente, CS 3 presenta gran cantidad de piezas, dificultando su implementación (P = 1); aun cuando los otros CS también son complejos (P = 2).

EVALUACIÓN DEL SISTEMA MECATRÓNICO											
VALOR ECONÓMICO (Yi)											
Proyecto: Vehículo omnidireccional tele operado para carga pesada en minería											
Conceptos de solución			C.S.1			C.S.2		C.S.3		C.S. Ideal	
No.	Criterios económicos	G	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP	
1	Costo de materiales	2	3	6	2	4	1	2	4	8	
2	Costo de mantenimiento	3	2	6	3	9	2	6	4	12	
3	Costo de operaciones	3	2	6	3	9	1	3	4	12	
4	Facilidad de montaje	2	2	4	2	4	1	2	4	8	
5	Pocos desperdicios	3	3	9	3	9	2	6	4	12	
Suma total			31		35		19		52		
Ponderado económico			0.6		0.67		0.37		1		
Orden			2		1		3		-		

Figura 3.27: Evaluación económica de conceptos de solución

Para la evaluación económica, se consideran principalmente: la menor cantidad de residuos, el costo por mantenimiento y operación; puesto que todos los CS representan un costo alto debido a sus materiales y tecnologías.

El CS 3 tiene menor puntaje ($P = 1$) debido a que se desarrolló considerando una solución “a todo costo” con mayor cantidad de piezas y más caras. En contraste, el CS 1 tiene costos más bajos ($P = 3$); aunque requiere de mayor mantenimiento ($P = 2$). Se muestran los puntajes en la Figura 3.27.

Como resultado final de evaluación y análisis, el CS 2 presenta mejor calificación en ambas evaluaciones, por lo cual el Concepto Óptimo se desarrolla en base al CS 2, siendo posible realizar cambios para mejorar el desempeño recuperando ventajas de otros conceptos.

3.5. Concepto de solución óptima

Se detallan los componentes que conforman el concepto de solución óptima, una primera vista general del vehículo, considerando los elementos más importantes y algunas dimensiones como referencia. También se tratan las mejoras sobre el CS 2.

En primer lugar, la solución óptima implementa un centro de mando, como se muestra en la Figura 3.25, conectado de forma inalámbrica al controlador del vehículo. Dicho centro de mando se puede ubicar en diferentes áreas de trabajo.

Para la suspensión del vehículo se utiliza el chasis mostrado en la Figura 3.29, acompañado de una suspensión con muelles planos (o ballestas). Para el ensamble de suspensión, motor y ruedas se considera el esquema mostrado en la Figura 3.30.

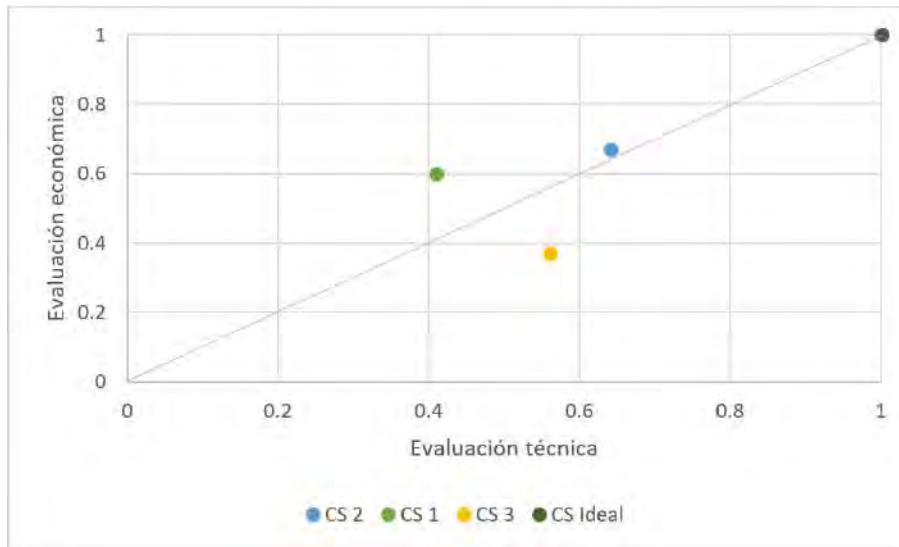


Figura 3.28: Gráfica con resultados de evaluación

Atendiendo el nivel de seguridad se ha dispuesto implementar motores DC para cada rueda, considerando su control preciso y el fácil accionamiento en ambos sentidos de giro (usando controlador Curtis). Adicionalmente, se usan dos cilindros de simple efecto para izar la tolva, aprovechando el peso de la tolva para retraer los cilindros. El montaje de los cilindros se realizará según Figura 2.12.

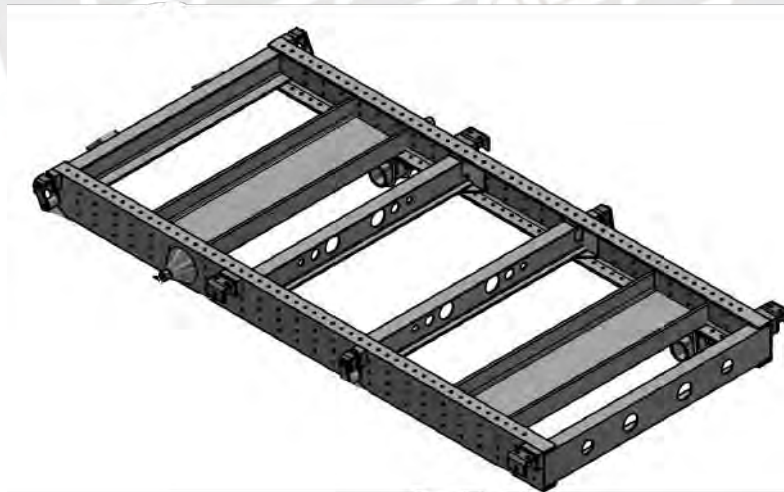


Figura 3.29: Chasis para el vehículo de carga

Por lo demás, se utilizarán los mismos componentes del C.S. 2: sensores de ultrasonido, encoder, tolva de piso plano, disipador de calor más ventilador, controlador Curtis, contactor, entre otros.

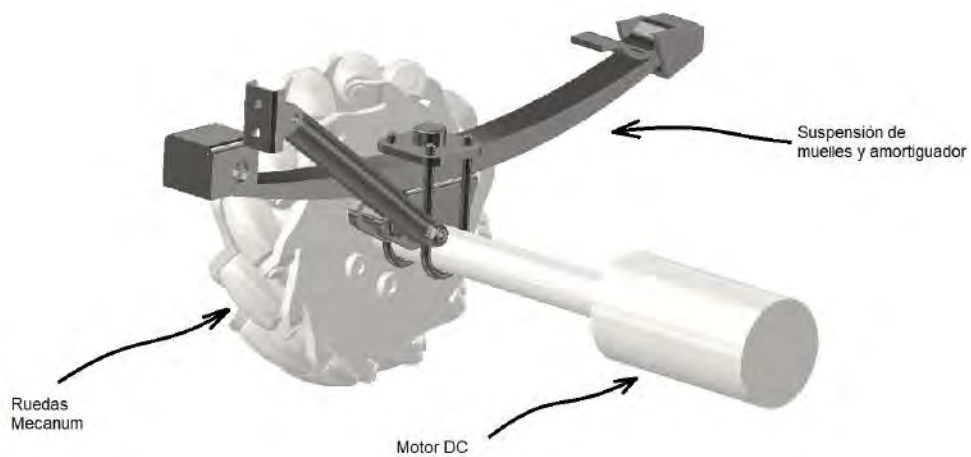


Figura 3.30: Ensamble de ruedas, motor y suspensión

Finalmente, se muestra una vista general del vehículo en la Figura 3.31. Cabe señalar que, a diferencia de un vehículo regular, no se requiere sistema de dirección, lubricación o frenado. Se indica nuevamente que la zona de trabajo objetivo del vehículo son zonas uniformes y afirmadas en minería, que permitan a las ruedas Mecanum tener fricción en los rodillos.

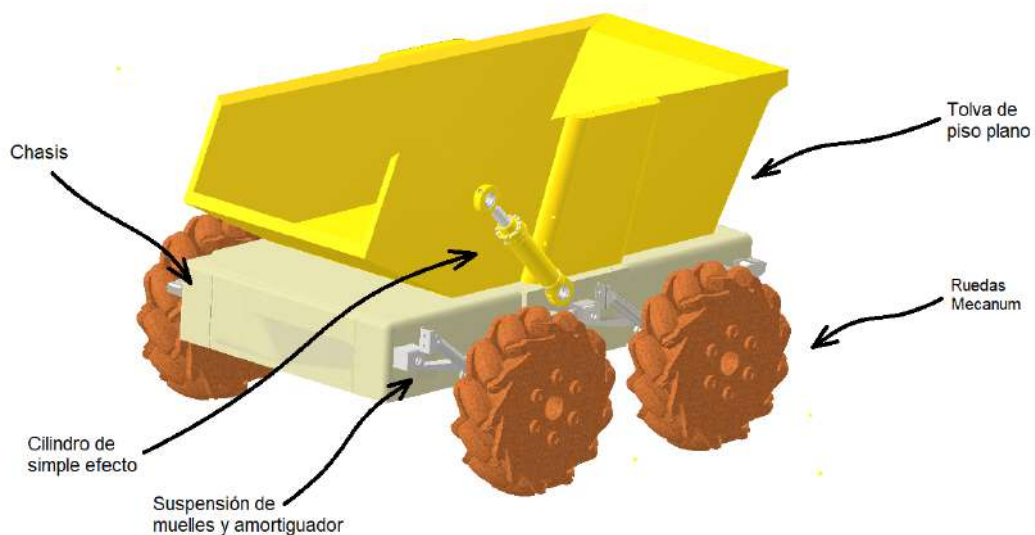


Figura 3.31: Primera vista general del vehículo

CAPÍTULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO

En el presente capítulo se desarrolla y diseña los sistemas del vehículo eléctrico omnidireccional para carga ligera en minería. En base a los requerimientos se procede a seleccionar componentes, diseñar piezas y ensambles, y simular los sistemas según condiciones de funcionamiento esperadas.

En primer lugar, se diseña el sistema hidráulico de izaje de tolva. Luego, se define y simula la dinámica del vehículo, para conocer los requerimientos de potencia y elegir las baterías, motores, controladores y demás componentes necesarios. También se seleccionan los componentes de control y sensores. Finalmente, se realiza el diseño mecánico de la tolva, el chasis, la suspensión y se definen los ensambles de cada sistema, disponiendo de todos los componentes físicamente.

4.1. Sistema hidráulico de izaje

El sistema hidráulico de izaje está compuesto por cilindros hidráulicos que generan fuerza para elevar la tolva. Esta tolva se encuentra pivotada en el extremo trasero del vehículo, mientras que los cilindros se encuentran fijados diagonalmente según Figuras 1.2 y 2.12. El ángulo de montaje considerado para los cilindros es de 65° . Adicionalmente, se requiere de un tanque para contener el fluido, una bomba hidráulica, válvulas y tuberías. Se considera utilizar cilindros de doble efecto, asegurando un levantamiento y retorno a la posición original de forma estable y segura.

4.1.1. Cálculo y elección de elementos

Se realiza el cálculo y selección de los componentes del sistema hidráulico, asegurando la descarga de 06 toneladas en adición al peso de la tolva. Las tolvas de camiones CAT y Komatsu con capacidades entre 50 a 110 toneladas, pesan alrededor de 20 a 30% de la carga útil. A

partir de ello, se define que la tolva tendrá un volumen de 08 metros cúbicos con un peso de 02 toneladas (33 % de carga útil), considerando trabajo con roca dura. Se considera lo siguiente en relación a la carga:

Carga total = Carga nominal + Peso de tolva

Carga total = 06 + 02 toneladas

Carga total = 08 toneladas = 8 000 kg

Considerando las recomendaciones para hidráulica móvil compacta, se ha definido trabajar con una presión nominal de 250 bar. Se procede a calcular el diámetro del pistón:

$$Carga_{real\ cilindro} = \frac{Carga_{total}}{2} = 4000kg$$
$$Area_{piston} = \frac{Carga_{real\ cilindro}}{Presion} = \frac{4000kg \cdot 9,81m/s^2}{25N/mm^2} = 1569,6mm^2$$
$$Diametro_{piston} = \sqrt{\frac{4 \cdot Area_{piston}}{\pi}} = 44,7mm$$

Considerando la recomendación internacional ISO/DIS 6022 para cilindros hidráulicos, el diámetro normalizado superior es 50 mm. Se toma como primer diámetro tentativo 50 mm; sin embargo, después de hacer cálculos y verificaciones iterativas, se elige el diámetro nominal de 100 mm para cumplir con las verificaciones. El montaje será articulado en ambos extremos, como en Figura 2.12. Se considera el esquema de la Figura 4.32 para definir la disposición del cilindro retraído (inclinado 65°), la posición del cilindro extendido en toda su longitud de 2 100 mm y la distancia horizontal entre el pivote del chasis y de la tolva (1 900 mm). El cilindro seleccionado tiene distancia de montaje de 1 320 mm y carrera máxima de 880 mm. Finalmente, se configura con amortiguación y sensores de proximidad al cilindro, para mejorar desempeño y control.

Se realizan los cálculos con datos de un cilindro seleccionado del fabricante Bosch Rexroth:

- Diámetro de émbolo: 100 mm (DIN 6022).
- Cilindro de doble efecto.
- Presión nominal: 250 bar.
- Sujeción: Articulado en base y cabeza.
- Carrera: 880 mm.
- Longitud de montaje: 1.32 m.

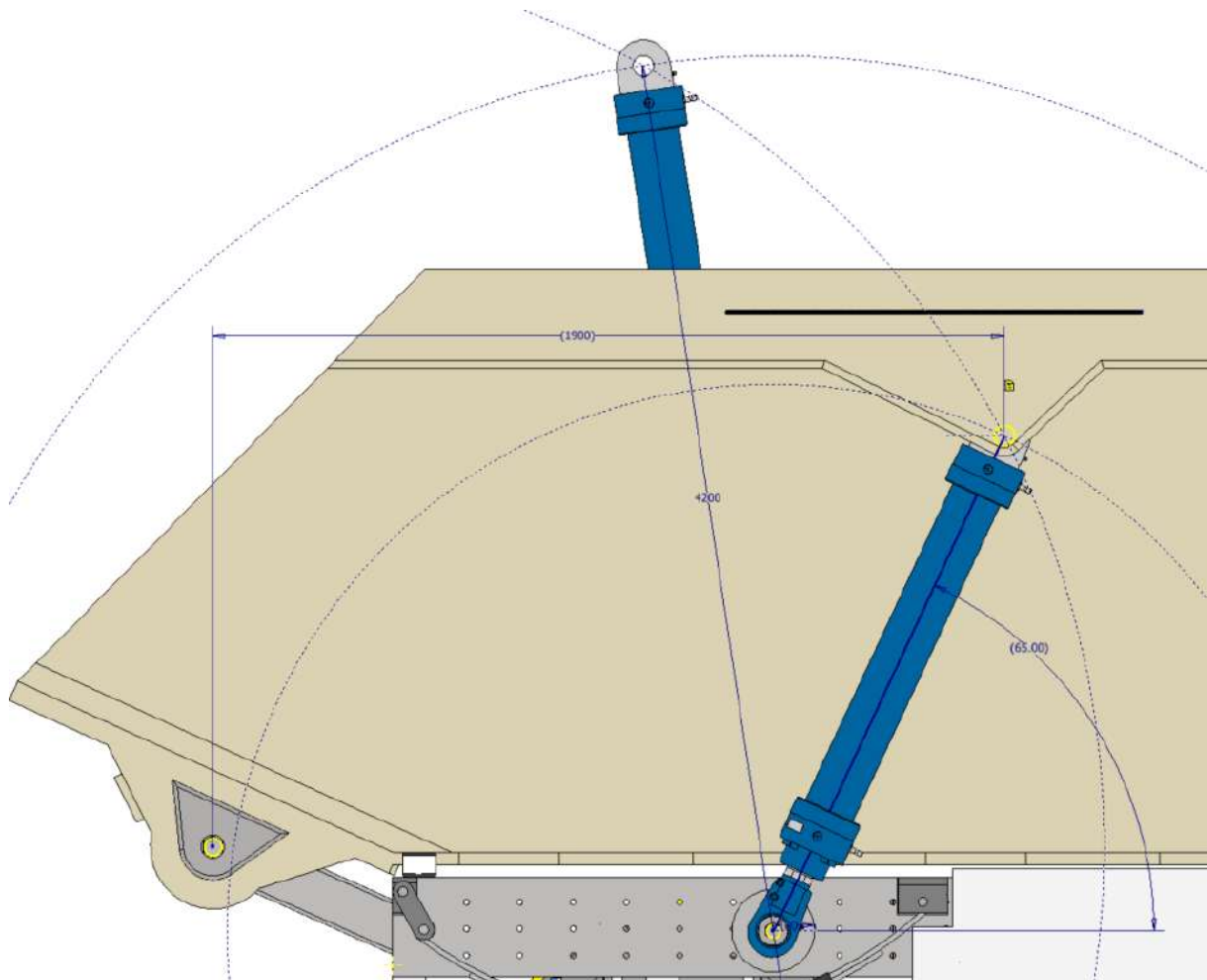


Figura 4.32: Disposición de cilindros de levante y pivote

- Conexión a tuberías: ISO 1179-1 o 9974-1.
- Amortiguación en ambos lados, interruptor inductivo de proximidad.
- Diámetro de vástago: 70 mm.

Los cilindros soportarán compresión en todo momento por el peso de la carga aplicado de forma pulsante. Se requiere verificar que los cilindros no fallen por pandeo. Primero, se determina el grado de esbeltez con la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{L_p}{i}$$

Donde i es el radio de giro respecto al que se flexiona el cilindro. Para calcular dicho valor se consideran reemplazar las dimensiones del vástago en la siguiente expresión:

$$i = \frac{d}{4} = \frac{70\text{mm}}{4} = 17,5\text{mm}$$

Y L_p es la longitud de libre pandeo, cuyo resultado depende del tipo de sujeción y de la longitud de carrera del cilindro. Considerando el factor k de la Figura 4.33 y reemplazando la expresión:

$$\lambda = \frac{k \cdot h}{i} = \frac{4 \cdot 880\text{mm}}{17,5\text{mm}}$$

$$\lambda = 201,14$$

Se comprueba que el cilindro es un elemento con alto grado de esbeltez ($\lambda > 90$), por lo cual se procede a aplicar la ecuación de Euler:

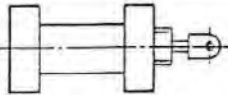
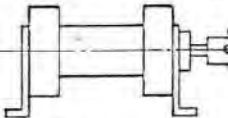
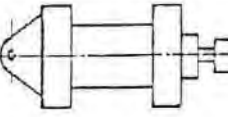
Vástago no guiado	Factor k de longitud de carrera, para vástago	
	Guiado	No guiado
	0,7	2,0
	0,7	2,0
	2,0	4,0

Figura 4.33: Factor k de longitud de carrera para vástago (Benjamín Barriga, s.f.)

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_p^2 \cdot S}$$

Donde E es el módulo de elasticidad, I el momento de inercia del vástago y S el factor de seguridad. Reemplazando:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 70\text{mm}^4}{64} = 1178588,12\text{mm}^4$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{N/mm}^2$$

$$S = 3,5$$

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \text{N/mm}^2 \cdot 1178588,12\text{mm}^4}{(4 \cdot 880\text{mm}^2)^2 \cdot 3,5}$$

$$F_k = 56,33\text{kN}$$

El inicio del izaje es el instante con mayor fuerza sobre los cilindros. Se considera el pivote de la tolva como el punto "A":

$$\Sigma M_A : 8000kg \cdot 9,81m/s^2 \cdot \frac{3,5m}{2} = F_{max} \cdot (\sin(65^\circ) \cdot 1,9m - \cos(65^\circ) \cdot 0,93m)$$

$$F_{max} = 103,34kN$$

$$F_{cil} = \frac{F_{max}}{2} = 51,67kN$$

Se verifica que $F_{cil} < F_k$, por lo cual se puede asegurar con un F.S. 3.5 que en el momento de mayor exigencia, el cilindro no fallará por pandeo.

Ahora se elige la bomba, considerando el volumen y la presión de trabajo. Se calcula el caudal necesario para que el cilindro complete su carrera en 9 segundos (velocidad de 100 mm/s):

$$Q = A_{total} \cdot v$$

$$A_{total} = A_{cilindro} \cdot 2$$

$$Q = 2492mm^2 \cdot 2 \cdot 100mm/s = 498,4cm^3/s = 29,90l/min$$

$$Q = V_b \cdot n = 29,90l/min = 29900cm^3/min$$

Donde V_b es el volumen desplazado por cada revolución y n es la velocidad angular. Se define emplear una bomba de engranajes con cuerpo de hierro fundido del fabricante CASAPPA. Dicha bomba es de la serie "PH" Polaris, presentando resistencia frente a altas exigencias, menor ruido en operación y alta eficiencia volumétrica. Considerando que las bombas operan con velocidades cercanas a 3000 revoluciones, se elige la bomba capaz de superar el caudal necesario. Se utiliza la bomba resaltada en la Figura 4.34, teniendo un desplazamiento volumétrico de $10,9cm^3/rev$.

Características Principais			
	Desplazamiento volumétrico	Presión continua máxima	Velocidad angular máxima.
POLARIS PH 20	cm ³ /rev ▪ in ³ /rev	bar ▪ psi	min ⁻¹
PH. 20•8	8,26 ▪ 0,50	250 ▪ 3600	3500
PH. 20•10,5	10,9 ▪ 0,66	250 ▪ 3600	3500

Figura 4.34: Bombas, motores y filtros hidráulicos. Series "PH" Polaris (Casappa, 2017)

La bomba seleccionada es Polaris PH20, el caudal deseado se obtiene con la siguiente velocidad:

$$Q = V_b \cdot n = 29900cm^3/rev = 10,9cm^3/rev \cdot nrev/min$$

$$n = 2743,5rev/min < 3500rev/min$$

A continuación, se elige la válvula de distribución que permita extender y retraer los cilindros, levantando la tolva. Para ello se propone utilizar una válvula 4/3 ABT comunicada, según la Figura 4.35.

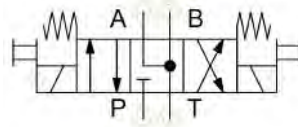


Figura 4.35: Válvula 4/3 ABT comunicada

La estabilidad de la tolva debe mantenerse en todo momento, previniendo cualquier fallo por fugas; para ello se propone la utilización de válvulas anti retorno pilotadas, cumpliendo con un cierre hermético. Se plantea el circuito expuesto en la Figura 4.36 para cumplir con los requerimientos. Dicho circuito acciona un cilindro hidráulico de doble efecto, permitiendo conectar un segundo cilindro en paralelo. La válvula es accionada por solenoides y controlada por un PLC.

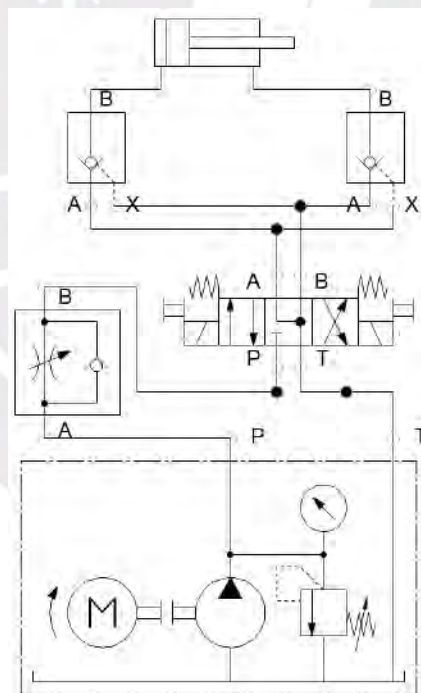


Figura 4.36: Circuito hidráulico con cilindro doble efecto, 4/3 anti retorno

Para la válvula 4/3 a utilizar, con una presión nominal de 250 bar y caudal 29.9 l/min, se elige la válvula 4WE del fabricante Rexroth, con accionamiento directo y por solenoide, de tamaño nominal 10, con conexión tipo "J" (A, B y T comunicados), retorno por resorte y con

solenoides de alta potencia de tensión nominal 24 VDC. Se muestra una vista isométrica en la Figura 4.37.



Figura 4.37: Vista isométrica de válvula direccional Rexroth de corredera 4/3, actuada por solenoides; con A, B y T conectados

Se define utilizar la válvula anti retorno con desbloqueo hidráulico Z2S (Rexroth). Tiene tamaño nominal 10, caudal de 120 l/min y presión máxima de 315 bar. La presión de pilotaje es 1.5 bar y utiliza juntas NBR en sus conexiones; compatibles con aceite mineral HL y HLP según DIN 51524.

La regulación del caudal permite control sobre la velocidad del cilindro. Se considera utilizar la válvula Z2FS del mismo fabricante, con tamaño nominal 10, caudal de 160 l/min y presión máxima de 315 bar. Dicha válvula cuenta con un botón giratorio y cerradura para regulación precisa, y es compatible con aceite mineral HL y HLP según DIN 51524.

Se asegura el sistema con una válvula limitadora de presión, para ello se utiliza la válvula de alivio ZDB 6 VP (Rexroth). Con presión máxima de 315 bar y 60 l/min de caudal, con regulación desde 10 bar y también compatible con aceites HL y HLP. La presión de trabajo se regula cerca de 250 bar y se posiciona la válvula limitadora después de la bomba. El ensamble de todos los componentes descritos se muestra en la Figura 4.77.

Considerando que el sistema será expuesto a ambientes de mina con altura cercana a 5 000 msnm, humedad relativa de 85% y temperaturas hasta 20 °C, se considera utilizar un fluido HLP según DIN 51524-2, el cual presenta protección contra oxidación, corrosión y desgaste. El montaje de los componentes del sistema hidráulico se aprecia en la Figura 4.77, adicionalmente el plano hidráulico y las especificaciones de cada componente se encuentran en el Anexo D.

Con respecto a las mangueras, se presentan los tipos recomendados para sistemas hidráulicos móviles en camiones:

- Manguera SAE 100R1 para transportar el fluido en zonas de baja presión y de retorno
- Manguera SAE 100R2 para soportar las presiones más altas del sistema, se colocan entre las válvulas, la bomba y los cilindros de acuerdo a la presión y caudal de operación

- Manguera SAE 100R4 para entrada de bomba hidráulica. Soporta vacíos que pueden provocarse en la entrada, y evita que colapse la manguera y el sistema

Los tamaños de mangueras se seleccionan considerando presión y caudal del sistema. En la Tabla 4.9 se muestra las presiones de funcionamiento para cada tipo de manguera según norma SAE.

Tabla 4.9: Presiones de funcionamiento de mangueras

Presiones de funcionamiento de mangueras SAE					
Tamaño de manguera	1/4"	1/2"	3/4"	1"	1-1/2"
Tipo de manguera	Presión máxima de funcionamiento (psi)				
SAE 100R1	2,800	2,000	1,250	1,000	500
SAE 100R17	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
SAE 100R2	5,000	3,500	2,250	2,000	1,250

Finalmente, se elige el tanque que almacena el fluido, considerando lo siguiente: área superficial capaz de disipar calor, superficie suficiente para montaje de componentes, tabique que separe ingreso y succión, filtro de retorno dentro del tanque e indicador de nivel. Para el dimensionamiento se toma en cuenta: el volumen requerido para extender ambos cilindros al 100 % más 20 % de reserva. Considerando el área de cada cilindro $78,54\text{cm}^2$, por la carrera total, más 20 % adicional se obtiene que la dimensión del tanque debe ser de 16588cm^3 o $16,59\text{L}$. Se propone utilizar aluminio, por su bajo peso y alta capacidad de disipar calor, compatible con aceite HLP y de forma rectangular. Se considera concluido el diseño del sistema hidráulico y se procede a simular su desempeño. La disposición física de los componentes elegidos se detalla en Sección 4.4.3.

4.1.2. Simulación de sistema hidráulico

En la Figura 4.38 se muestra el esquema obtenido en el software FluidSIM con los componentes configurados según sus fichas técnicas. El esquema simula el accionamiento de un cilindro. Se añaden indicadores de flujo, presión, desplazamiento y velocidad. Se consideran 3 etapas: levante, reposo y descarga.

Se adjunta el plano hidráulico junto con datasheet de los componentes hidráulicos en el Anexo D. Se detallan los componentes:

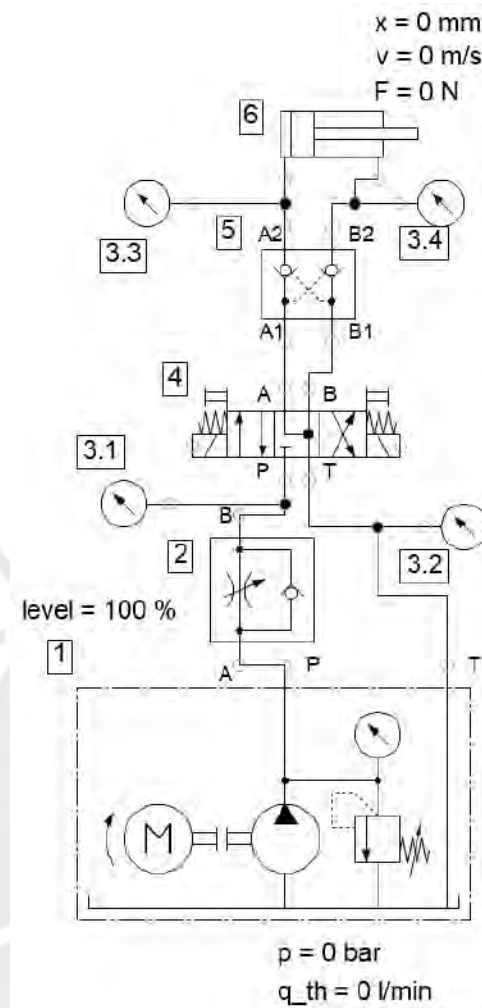


Figura 4.38: Sistema modelado en FluidSIM

- 1. Unidad de potencia hidráulica, conformada por: motor eléctrico, bomba, tanque y filtro, una válvula de alivio de presión y un manómetro. La bomba fue configurada de acuerdo al datasheet del fabricante: desplazamiento volumétrico de 10.9 cm³ a 2750 revoluciones. La válvula de alivio tiene apertura a 250 bar.
- 2. Válvula reguladora de caudal. En la simulación se muestra su apertura fijada en 100 %.
- 3. Manómetros indicando presiones en cada nodo.
- 4. Válvula de distribución 4/3 con solenoides, retorno por resortes y A-B-T comunicados.
- 5. Válvulas anti retorno pilotadas, permitiendo el flujo del cilindro y el cierre hermético cuando este se encuentra estable.

- 6. Cilindro hidráulico de doble efecto, diámetro de 100 mm, carrera total de 880 mm, ángulo de montaje de 65° y perfil de fuerza aplicada comenzando en los 0 mm de carrera con 51.67 kN en compresión, llegando a la carrera final con 0 kN.

Se comienza la simulación mostrando el instante después de comenzar la descarga. En la Figura 4.39 se muestra la carrera inicial, y la fuerza cercana a su mayor valor. La presión en el lado A es de 72.7 bar.

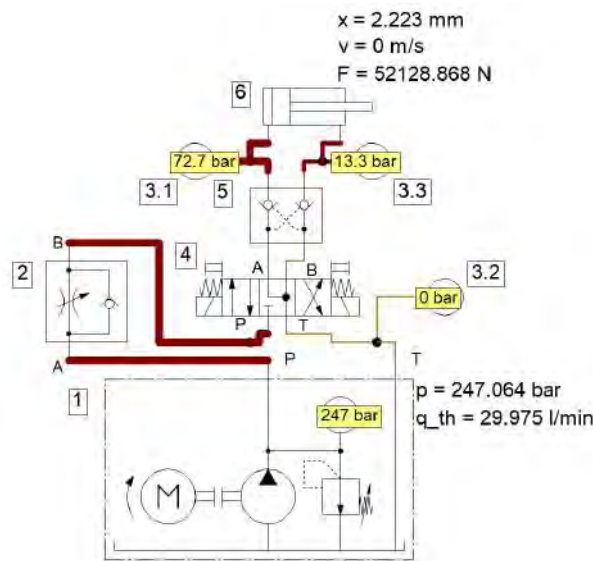


Figura 4.39: Simulación en inicio de levante

En el segundo momento, el cilindro está realizando el levantamiento de la tolva (válvula en posición A) y carrera mayor a la mitad del total. Se aprecia en la Figura 4.40 la velocidad de 0.05 m/s, la presión en A de 51.3 bar y en B de 39.2 bar. El caudal de la bomba es cercano a los 30 l/min.

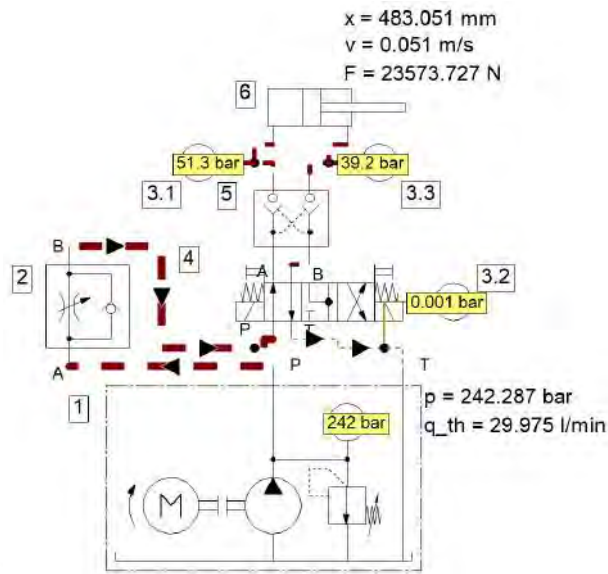


Figura 4.40: Simulación en proceso de levantamiento

Continuando, se simula una interrupción de la elevación, apreciando que el cilindro no se retrae debido al cierre hermético. Las presiones en ambos lados son altas (mayor a 30 bar) y están compensadas en el cilindro, de forma que este se encuentra en equilibrio estático, como se muestra en la Figura 4.41.

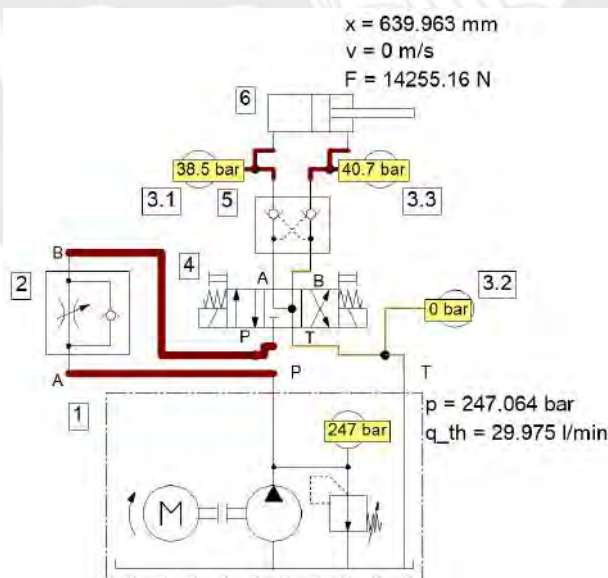


Figura 4.41: Simulación en levantamiento interrumpido

Finalmente, se muestra la simulación obtenida cuando el cilindro alcanza el extremo final y solo soporta la tolva vacía, según la Figura 4.42. Toda la presión se encuentra en el lado A.

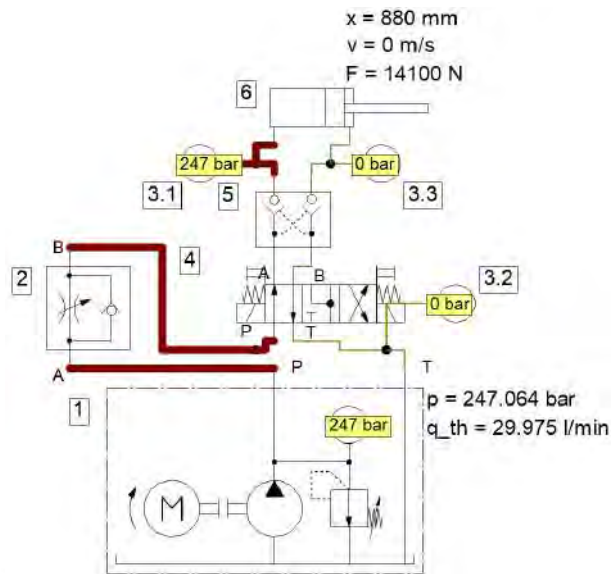


Figura 4.42: Simulación de cilindro al final de descarga

Ahora comienza la descarga, considerando solo el peso de la tolva. La presión en B es mayor, de acuerdo con la Figura 4.43.

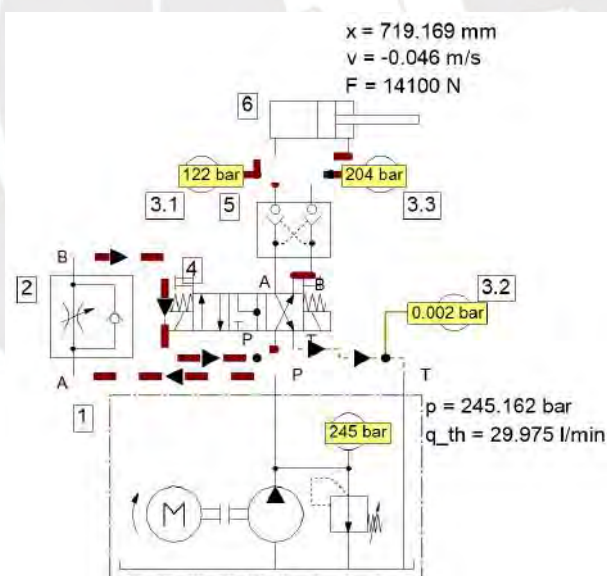


Figura 4.43: Simulación de cilindro en descenso a posición de reposo

Se simula una posible interrupción en el retorno, como en la Figura 4.44. No existe ningún desplazamiento ni fugas, se puede verificar que el accionamiento del cilindro es seguro y no se corre el riesgo de un desplazamiento inesperado.

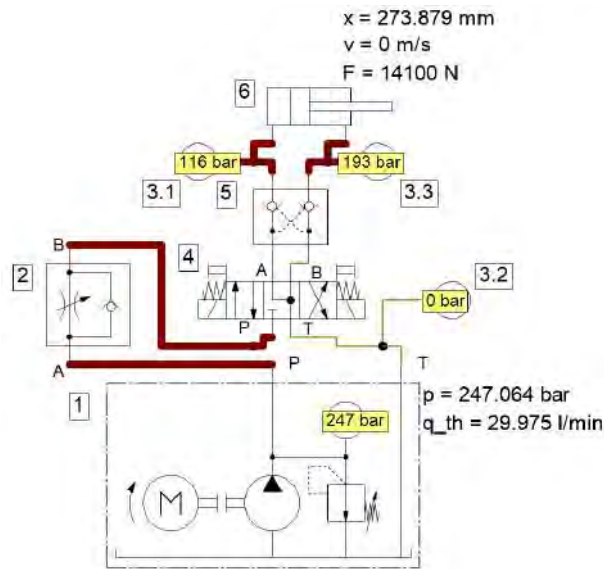


Figura 4.44: Simulación de cilindro en descenso interrumpido

Finalmente se puede apreciar en la Figura 4.45 el cilindro en su posición inicial. La simulación del levante duró 17 segundos, mientras que la bajada se concluyó en 19 segundos.

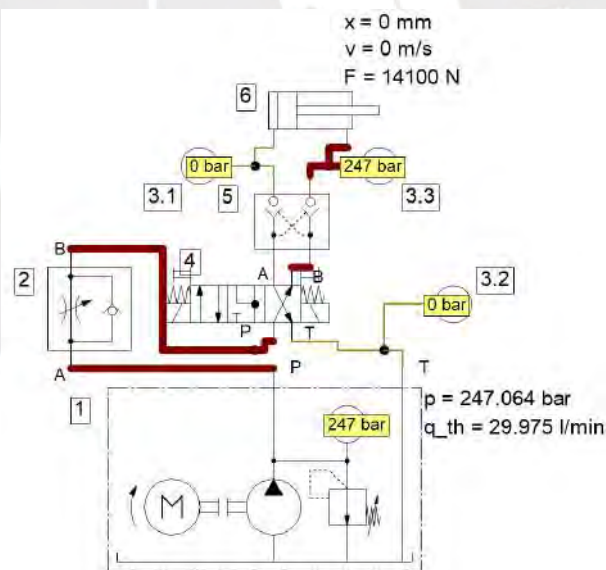


Figura 4.45: Simulación de cilindro en final de descenso

Se concluye la simulación del accionamiento del cilindro conforme, con tiempos promedio de 18 segundos para descarga y retorno. Se comprueba el cierre hermético, la ausencia de sobrepresiones y la estabilidad del cilindro. Se concluyen la elección, diseño y simulación del sistema hidráulico.

4.2. Implementación de desplazamiento omnidireccional

En la presente sección se desarrollan cálculos, elección y diseño para implementar el desplazamiento omnidireccional y simular su control. La presente sección comprende: elección de las ruedas Mecanum, análisis de la dinámica obteniendo ecuaciones de movimiento de forma directa e inversa, propuesta de control y simulación. Para analizar la dinámica se toma como base el trabajo realizado por Flores para obtener las ecuaciones que permitan cumplir con trayectorias determinadas optimizando los torques y voltajes provistos por los motores. Finalmente, se realiza una simulación ingresando las velocidades lineares y angulares del vehículo, y verificando su desplazamiento.

4.2.1. Elección de ruedas

Para elegir las ruedas se considera su capacidad de carga, montaje y dimensiones. Se debe determinar el centro de masa de las ruedas y el centro del vehículo para realizar los cálculos cinemáticos. Adicionalmente, se considera utilizar ruedas robustas y un sistema de suspensión apropiado que será expuesto en la sección de diseño mecánico.



Figura 4.46: Rueda Mecanum YSMW609 del fabricante Yousheng

Las ruedas del fabricante Yousheng Technology son fabricadas en aleación de aluminio para carga pesada. El diámetro es 609 mm, ancho 310 mm, peso neto de cada rueda de 143 kg, carga útil de 20 000 kg (para 04 ruedas), 8 rodillos por rueda, transmisión por chaveta y un eje de 100 mm de diámetro. Se tiene información del fabricante en cuanto a planos, precio FOB y demás adjunto en el Anexo E. Asimismo, en la Figura 4.46 se aprecia la rueda YSMW609 fabricada por Yousheng. En la Figura 4.47 se muestran las vistas frontal, perfil e isométrica de la rueda Mecanum YSMW609 fabricada por Yousheng. Las ruedas son montadas en los extremos del chasis en simetría con el centro de gravedad. El plano a detalle suministrado por el fabricante se aprecia en la Figura 4.74.

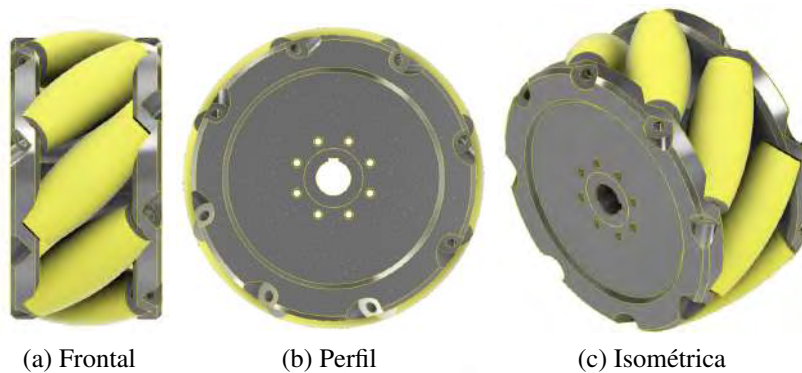


Figura 4.47: Vistas de Rueda Mecanum YSMW609

4.2.2. Dinámica de desplazamiento con ruedas Mecanum

El presente vehículo utiliza cuatro ruedas Mecanum para distribuir la carga; sin embargo, basta utilizar tres de estas ruedas para dotar de omnidireccionalidad a cualquier robot o vehículo, la velocidad de la cuarta rueda es independiente.

Para describir el desplazamiento omnidireccional, se debe considerar: La condición de “no deslizamiento” en los rodillos de la rueda, permite tener velocidades no perpendiculares al eje de la rueda, ello se explica en el diagrama de la Figura 4.48, mostrando una rueda Mecanum orientada en la dirección e_1 , con el eje de la rueda perpendicular e_2 . El eje del rodillo (dirección s_i), con una orientación δ medida a partir del eje e_2 . El punto de apoyo de la rueda Q_i es la intersección de e_1 y e_2 , la rueda tiene una orientación ψ respecto al eje “x”. La condición de no deslizamiento del rodillo implica que la velocidad del punto Q_i no tiene ningún componente en la dirección del vector s_i (Flores, 2016). En consecuencia, el rodillo permite componentes de velocidad en dirección del eje de la rueda (lo cual no sucede con ruedas normales). Se define la condición de no deslizamiento de la siguiente forma:

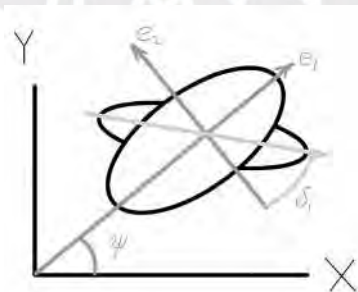


Figura 4.48: Vista de planta de rueda Mecanum

$$\vec{v}_{Q_i} \cdot \vec{s}_i = 0$$

Se considera que el centro de la rueda (O_i en adelante), se ubica a una distancia R en el eje “z” sobre la superficie de contacto, y que la rueda tiene una velocidad angular $\dot{\phi}$ con respecto a su propio eje. Ahora expresando la velocidad del centro de la rueda sobre los ejes “x” e “y”, Flores plantea la siguiente expresión como la ecuación de restricción de una rueda Mecanum sin deslizamiento a lo largo del eje de su rodillo:

$$\dot{x}_{O_i} \sin(\psi + \delta) - \dot{y}_{O_i} \cos(\psi + \delta) - R\dot{\phi} \sin(\delta) = 0$$

El centro de gravedad del vehículo se encuentra en el centro de la superficie de este, y con distancia longitudinal y transversal “l” y “d” entre el centro de las ruedas y el centro del vehículo, Flores obtiene un sistema de ecuaciones matricial considerado como la cinemática inversa. Las entradas de la ecuación son las velocidades en “x”, “y” y angular del centro de gravedad del vehículo, y las salidas son las velocidades de cada rueda.

$$\begin{bmatrix} \sin(\psi + \delta_1) & -\cos(\psi + \delta_1) & -l \cos(\delta_1) - d \sin(\delta_1) & 0 \\ \sin(\psi + \delta_2) & -\cos(\psi + \delta_2) & -l \cos(\delta_2) + d \sin(\delta_2) & 0 \\ \sin(\psi + \delta_3) & -\cos(\psi + \delta_3) & l \cos(\delta_3) - d \sin(\delta_3) & 0 \\ \sin(\psi + \delta_4) & -\cos(\psi + \delta_4) & l \cos(\delta_4) + d \sin(\delta_4) & -R \sin(\delta_4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_G \\ \dot{y}_G \\ \dot{\psi} \\ \dot{\phi}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R\dot{\phi}_1 \sin(\delta_1) \\ R\dot{\phi}_2 \sin(\delta_2) \\ R\dot{\phi}_3 \sin(\delta_3) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Se verifica que con tres ruedas se puede cumplir cualquier desplazamiento definido. Reemplazando las dimensiones en las ecuaciones, obtenidas de la Figura 4.49 ($l = 1\ 186$ mm, $d = 1\ 056.5$ mm, $R = 304.8$ mm) y con una orientación inicial propuesta de $\delta_1 = \delta_4 = -\delta_2 = -\delta_3 = 45^\circ$, se obtiene la ecuación de la siguiente forma:

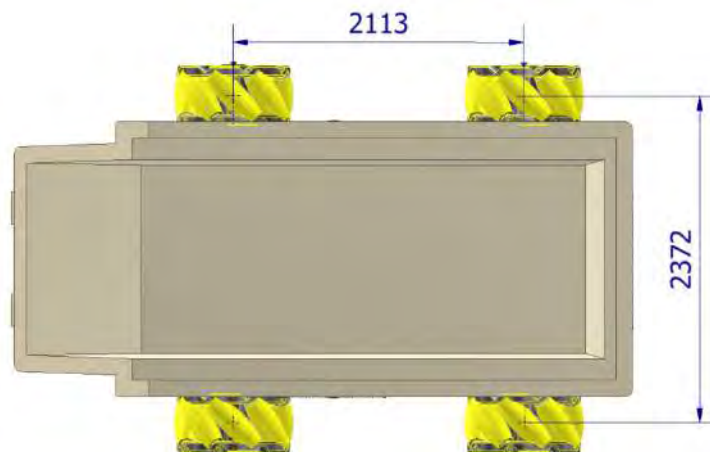


Figura 4.49: Distancias longitudinal y transversal entre centros de ruedas del vehículo

$$\begin{bmatrix} 3,28 & -3,28 & -7,35 & 0 \\ 3,28 & 3,28 & 7,35 & 0 \\ 3,28 & 3,28 & -7,35 & 0 \\ 0,71 & -0,71 & 1,59 & -0,22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_G \\ \dot{y}_G \\ \dot{\psi} \\ \dot{\phi}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \\ \dot{\phi}_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

En el trabajo de Flores se analiza un robot con 04 motores y aplica las ecuaciones de Lagrange para simplificar las fuerzas internas, consiguiendo un modelo de espacio estados tomando como entradas las velocidades y aceleraciones del vehículo, de forma que es posible conseguir como salidas los torques necesarios para cada rueda. Por otro lado, si bien el sistema solo cuenta con tres grados de libertad, se añade una ecuación para obtener el torque de la cuarta rueda. Para tomar provecho de ello, se plantea que la ecuación adicional permita obtener los torques óptimos para cada rueda. Dichas ecuaciones de torque mínimo (Flores, 2016) son las siguientes:

$$\begin{bmatrix} M_{1_{min}} \\ M_{2_{min}} \\ M_{3_{min}} \\ M_{4_{min}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{4} \\ \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{2} & 0 & -\frac{1}{4} \\ 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Dónde:

$$A = \frac{R\sqrt{2}}{2} \left((\ddot{x}_G(m + \frac{4J_{w33}}{R^2}) + \frac{4J_{w33}}{R^2} \dot{y}_G \dot{\psi}) \cos(\psi + \frac{\pi}{4}) + (\dot{y}_G(m + \frac{4J_{w33}}{R^2}) - \frac{4J_{w33}}{R^2} \dot{x}_G \dot{\psi}) \sin(\psi + \frac{\pi}{4}) \right)$$

$$B = \frac{R\sqrt{2}}{2} \left((\ddot{x}_G(m + \frac{4J_{w33}}{R^2}) + \frac{4J_{w33}}{R^2} \dot{y}_G \dot{\psi}) \sin(\psi + \frac{\pi}{4}) - (\dot{y}_G(m + \frac{4J_{w33}}{R^2}) - \frac{4J_{w33}}{R^2} \dot{x}_G \dot{\psi}) \cos(\psi + \frac{\pi}{4}) \right)$$

$$C = \frac{R}{l+d} \ddot{\psi} (J_c + \frac{4J_{w33}}{R^2} (l^2 + d^2))$$

4.2.3. Control de desplazamiento

En la presente sub sección se desarrolla el control de desplazamiento. El vehículo implementa un PLC controlando sensores y actuadores, 04 motores AC y un controlador PM250 para cada motor, comunicado por CAN bus con información como torque y velocidad. En primer lugar, las entradas (referencia) del sistema son las velocidades deseadas del vehículo:

$$r[i] = \begin{bmatrix} \dot{X}_G[i] \\ \dot{Y}_G[i] \\ \dot{\psi}[i] \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Se plantea que las salidas sean las velocidades de cada rueda, enviadas como señales al driver de cada motor:

$$[y[i]] = \begin{bmatrix} \phi_1 [i] \\ \phi_2 [i] \\ \phi_3 [i] \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Entonces, la variable de error sobre la que actúa el control deberá ser la diferencia entre la velocidad real de la rueda (obtenida por sensores) y la velocidad calculada. De esta forma se define el error de manera discreta:

$$e[i] = r - y[i]$$

Con las ecuaciones de la sección anterior se pueden obtener el torque y voltajes óptimos para cada rueda, dichos parámetros serán considerados la variable de control del sistema. El flujo de control planteado para el desplazamiento del vehículo es el mostrado en la Figura 4.50.

En primer lugar el operario ingresa las velocidades lineales y angular del vehículo, luego se calculan las velocidades teóricas para cada rueda. La señal de error es la diferencia entre las velocidades calculadas con las velocidades reales, dicha señal ingresa al controlador PID y este retorna los torques óptimos transferidos por CAN bus a cada controlador. Para la simulación del sistema se ingresan las velocidades del vehículo y se grafica su pose en un plano. Se añaden perturbaciones tipo escalón a la salida del actuador. Se muestra en la Figura 4.51 el control en diagrama de bloques, incluyendo las entradas, retroalimentación, salidas y perturbación.

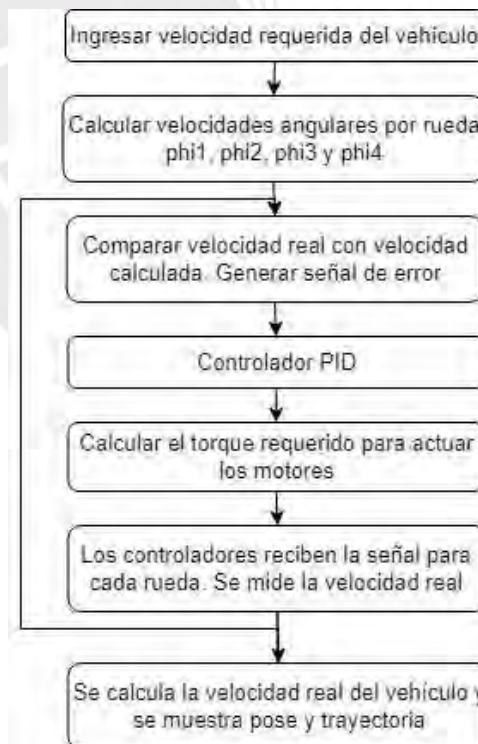


Figura 4.50: Diagrama flujo de algoritmo de control

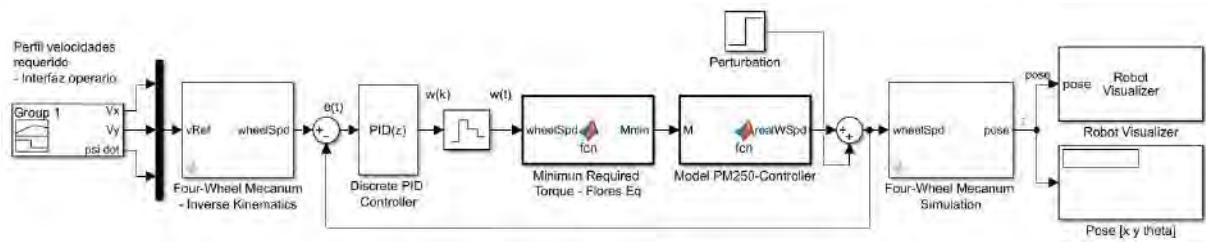


Figura 4.51: Algoritmo de control implementando planta y PID

4.2.4. Simulación de desplazamiento

Se procede a simular y verificar el desplazamiento omnidireccional del vehículo con cuatro ruedas Mecanum, mostrando las diferentes trayectorias simuladas. Se utiliza el módulo de Matlab llamado “Mobile Robotics Simulation Toolbox” (MathWorks, 2024). El toolbox contiene bloques configurados con ecuaciones de cinemática directa e inversa, para un vehículo que integra cuatro ruedas Mecanum, también contiene un bloque de visualización para apreciar la trayectoria y pose del vehículo.

En primer lugar, se simula una trayectoria rectangular. Se ingresa un perfil de velocidades según mostrado en la Figura 4.52.



Figura 4.52: Perfil de velocidades para trayectoria rectangular

Se toma una captura en la pose final, mostrando la trayectoria recorrida y velocidades finales del vehículo, en la Figura 4.53.

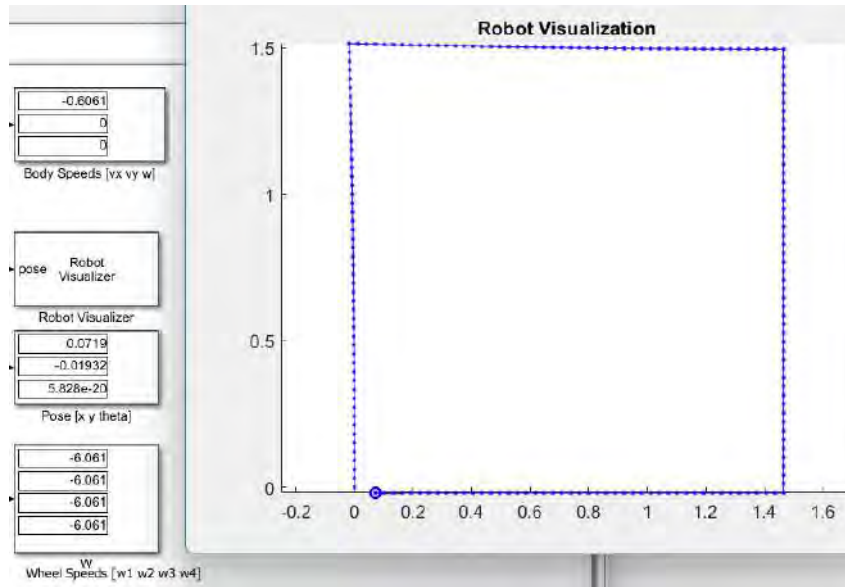


Figura 4.53: Simulación de trayectoria rectangular

Habiendo verificado el desplazamiento omnidireccional con una trayectoria de tramos rectos, se plantea simular una trayectoria que incluye un tramo diagonal, recto y curvo. Dicha trayectoria es configurada con los perfiles de velocidad mostrados en la Figura 4.54.

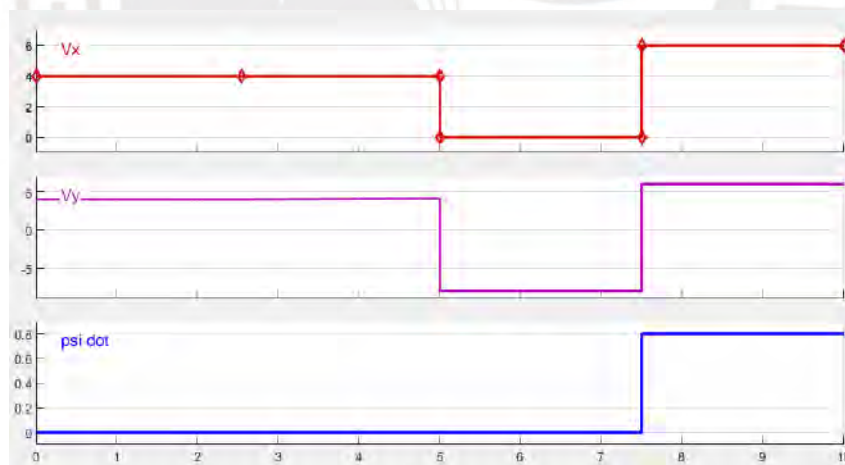


Figura 4.54: Perfil de velocidades para trayectoria combinada

Se registró la trayectoria mostrada en la Figura 4.55, se muestran velocidades del vehículo y de cada rueda. En la pose mostrada se aprecia la orientación del frente del vehículo (línea roja en el gráfico “Robot Visualization”).

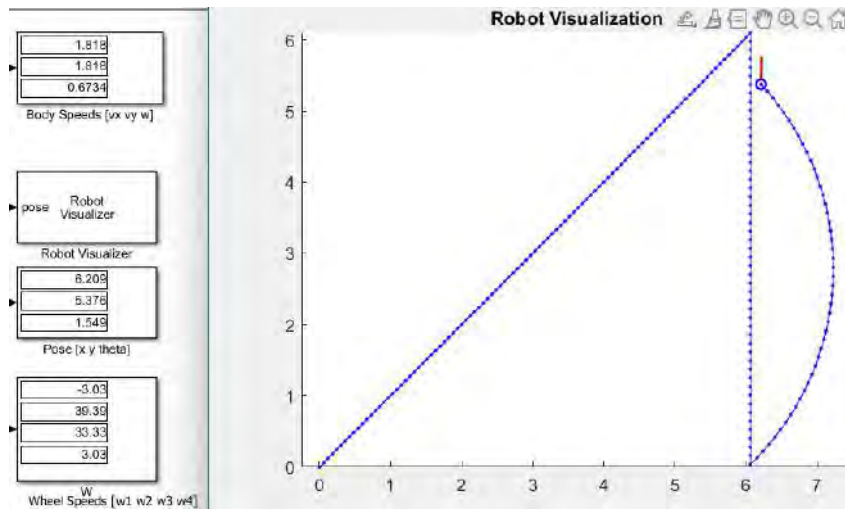


Figura 4.55: Simulación de trayectoria combinada

Finalmente, se plantea simular una trayectoria circular, teniendo como V_x y V_y a señales sinusoidales con desfase de $\frac{\pi}{2}$. El resultado obtenido se muestra en la Figura 4.56.

Se verifica que es posible cubrir cualquier trayectoria con 04 ruedas Mecanum y sin necesidad de cambiar la orientación del vehículo. El perfil de velocidades de entrada pueden ser ingresados en campo, según se requiera, por el operario.

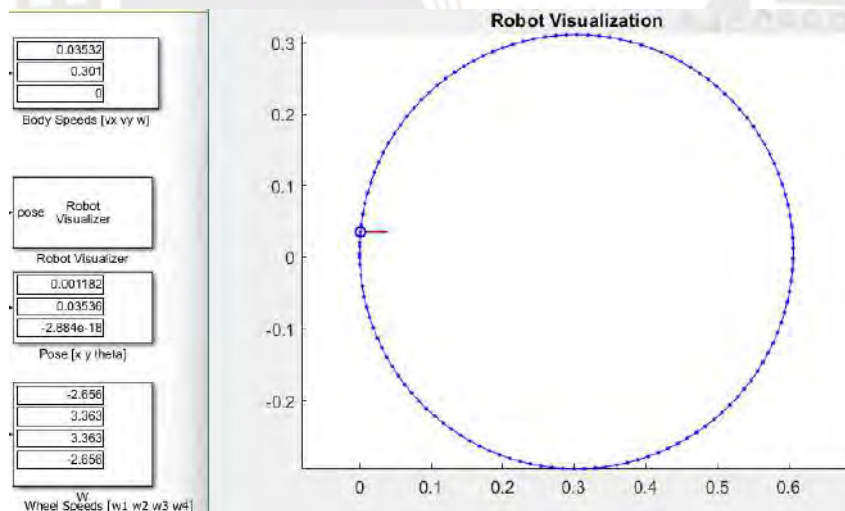


Figura 4.56: Simulación de trayectoria circular

4.3. Sistema eléctrico y electrónico de energización y control

En la presente sección se eligen los motores eléctricos adecuados para cumplir con requerimientos de torque y velocidad; además del reductor, controlador y componentes de protección para dichos motores. Luego, se eligen los sensores para medir el nivel de tolva y proximidad en el entorno. Finalmente, se definen los componentes encargados del control del vehículo, y las baterías y sistemas de protección encargados de energizarlo.

4.3.1. Elección de componentes electrónicos

Para comenzar con la selección, se hace un listado preliminar de componentes necesarios para cumplir con los requerimientos.

- Motor AC y controlador (>200 VAC o VDC)
- Módulo de baterías y sistema de gestión BMS (>200 VAC o VDC)
- PLC, Gateway, Ethernet switch y módulos de entradas/salidas adicionales (24 VDC)
- Sensores para monitorear entorno y nivel de tolva (<24 VDC O VAC)

El primer componente a elegir es el motor para cada rueda. Para su elección se calculan: Torque máximo para el arranque del vehículo y Potencia nominal de funcionamiento. Para calcular el torque, se utiliza el DCL de la Figura 4.57, considerando que el peso del vehículo, carga completa y tolva son distribuidos entre las cuatro ruedas.

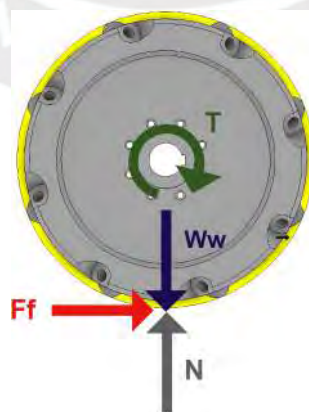


Figura 4.57: DCL de rueda, antes de rodadura

Se propone la siguiente expresión, donde m_t es la masa total del vehículo cargado, con W_w siendo el peso distribuido de todo el vehículo en cada rueda. Para comenzar el desplazamiento, es necesario que el torque T sea mayor que la fricción estática en la rueda del vehículo, con ello se define el torque mínimo para el arranque.

$$W_w = \frac{(m_t)g}{4}$$

$$W_w = \frac{(9000kg)9,81m/s^2}{4}$$

$$W_w = 22,07kN$$

$$F = F_f = N \cdot \mu = 22,07kN \cdot \mu$$

Se toma en cuenta un valor de μ igual a 0.6 , debido a que se considera la fricción entre los rodillos y un suelo afirmado. Examinando el radio de la rueda de 0.33 m, se calcula el torque de arranque:

$$F = 13,24kN$$

$$T = F \cdot r = 13,24kN \cdot 0,305m = 4038,2Nm$$

También se calcula la potencia requerida por los motores cuando están en movimiento. Para ello se toma en cuenta el diagrama de la Figura 4.58. Se identifican cuatro fuerzas: peso del vehículo en una pendiente θ (F_w), fuerza aerodinámica (F_a), fuerza de rozamiento (F_r) y fuerza de Euler (F_e).

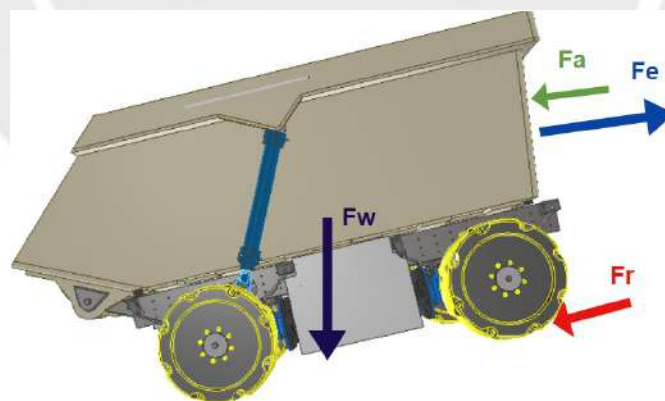


Figura 4.58: DCL del vehículo en movimiento

La potencia mecánica del desplazamiento debe ser suministrada nominalmente por los cuatro motores. Se calculan las fuerzas del DCL para calcular la potencia mecánica. Se tomará en cuenta la pendiente θ con un valor máximo del 10 % para un tramo de 100 m (aprox. 5°).

$$F_w = mg \sin(\theta)$$

$$F_w = 9000kg \cdot 9,81m/s^2 \cdot \sin(5^\circ)$$

$$F_w = 7695N$$

Para calcular la fuerza de resistencia aerodinámica, se examina la siguiente expresión:

$$F_a = \frac{1}{2} C_x \cdot A \cdot \rho \cdot V^2$$

Donde C_x es el coeficiente de resistencia aerodinámica. Para dicho valor se evalúa el coeficiente de vehículos con la parte frontal plana y rectangular, con valor de 1.15 según el laboratorio MIRA, donde se realiza un ensayo aerodinámico en túnel de viento. También se considera la densidad del aire promedio (ρ) por sobre los 1000 m.s.n.m., el área frontal del vehículo (A), y la velocidad máxima del vehículo (V) de $30km/h = 8,33m/s$. Reemplazando se obtiene:

$$F_a = \frac{1}{2} 1,15 \cdot 2,4m^2 \cdot 1,11kg/m^3 \cdot 8,33m^2/s^2$$

$$F_a = 12,76N$$

Para la fuerza de rozamiento se plantea:

$$F_r = m \cdot g \cdot \cos(5^\circ) \cdot \mu$$

$$F_r = 48073,91N$$

Considerando que el vehículo se desplaza sin aceleración, se desprecia la fuerza F_E . Se plantea la siguiente ecuación:

$$P_{E_n} = P_m = (F_a + F_\theta + F_f) \cdot V$$

$$P_{E_n} = P_m = (55781,67N) \cdot 8,33m/s = 464661,27kW$$

$$P_w = \frac{P_{E_n}}{4} = 116,17kW$$

La potencia nominal en cada motor debe ser aproximadamente 116.17 kW (155.8 HP) y el torque de arranque del motor debe ser de 4 038 Nm. Se elige el motor AMR HVH 250-115P, capaz de proveer una potencia pico de 180 kW a 350 V y un torque máximo de 415 Nm aproximadamente, con una potencia nominal de 115 kW. Dicho motor presenta la gráfica de Torque vs RPM mostrada en la Figura 4.59. Además, tiene un peso de 57 kg y dimensiones de 360mm x 492mm x 356mm. El motor posee una relación potencia/peso bastante alta, incorporando sensores tipo encoder, sensores de temperatura y un sistema de enfriamiento con agua (intercambiador de calor), además es compatible con Bus Can. El datasheet y demás datos del motor se encuentran adjuntos en el Anexo F, mientras el tipo de eje para transmisión se muestra en la Figura 4.75.

Sin embargo, no se cumple con el torque necesario, por ello se plantea utilizar un reductor a la salida del motor. Se calcula la reducción necesaria para cumplir con el torque. El motor debe operar a 4000 rpm a su salida, con una velocidad máxima del vehículo de 30km/h o 8.33 m/s. $w_{o_{max}}$ y $w_{i_{max}}$ son las velocidades angular máxima a la salida y entrada del reductor. Se calcula la reducción r máxima para obtener las velocidades requeridas.

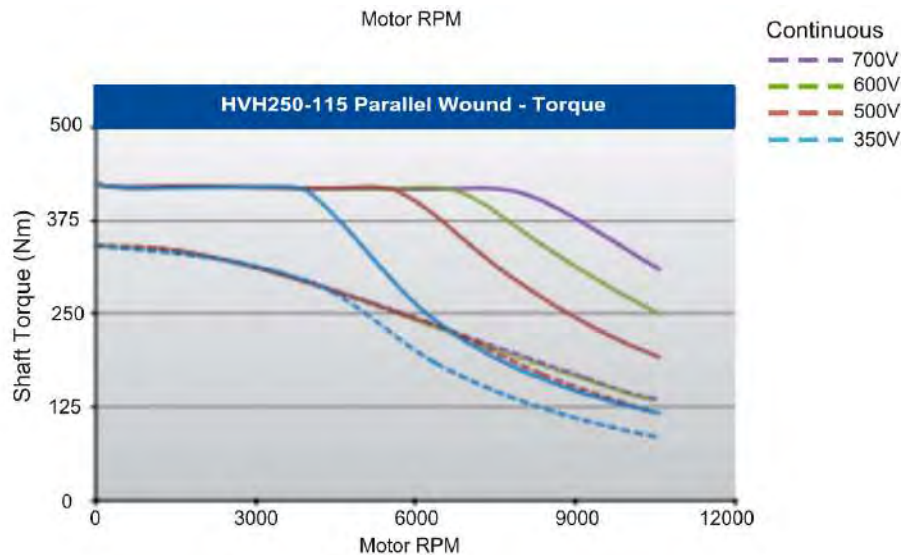


Figura 4.59: Gráfica Torque vs RPM para motor AMR 250-P1 (Cascadia Motion, s.f.)

$$V_{max} = 8,33m/s$$

$$w_{o_{max}} = \frac{V_{max}}{R} = 25,25rad/s$$

$$w_{i_{max}} = 4000rpm = 419rad/s$$

$$r_{max} = \frac{419rad/s}{25,25rad/s} = 16,6$$

Por otro lado, el torque mínimo a la salida del reductor debe ser 4 100 Nm y el máximo proporcionado por el motor es de 415, se calcula la reducción r mínima.

$$r_{min} = \frac{T_{max}}{T_{min}} = \frac{4100Nm}{415Nm} = 9,87$$

La reducción debe tener valor entre 9.9 y 16.6. Se elige trabajar con un reductor planetario del fabricante Rossi. Para la elección se considera:

- Potencia de entrada 120 kW y velocidad de entrada 4000 rpm
- Ratio de reducción entre 9.9 y 16.6
- Torque de salida mayor a 4 100 Nm

Se elige una reducción de la serie EP con ejes ortogonales tamaño 018A-2EB, con reducción de 10.4, un torque máximo admisible a la salida de 7910 Nm, velocidad a la salida de 224 rpm y una velocidad mínima a la entrada de 2240 rpm. En la Figura 4.60 se muestra el reductor.

Para controlar el motor se utiliza el driver PM250 provisto por el fabricante Cascadia. El controlador/inversor RMS PM250DZ es recomendado por el fabricante para obtener alta eficiencia. Soporta tensión de hasta 800 VDC y suministra hasta 300 kW de potencia (600 Arms pico y 450 Arms de forma continua), es compatible con bus CAN y pesa 18 kg. Las dimensiones son 523mm x 391mm x 75mm y utiliza cables entre 2 y 3/0 AWG. En la Figura 4.61 se aprecia el controlador, con 03 conectores por fase, un conector de 41 pines para el bus CAN y un conector de 26 pines para comunicación con el motor.

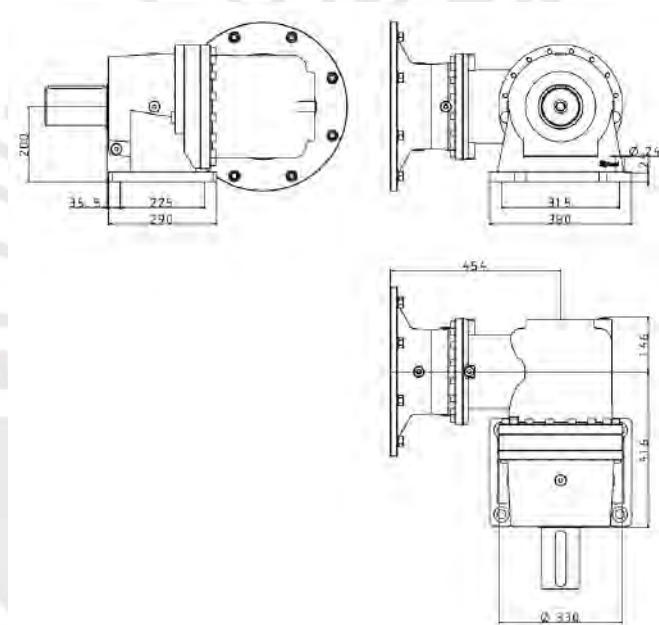


Figura 4.60: Reductor serie EP tamaño 018A 2EB/10,4 (Rossi Part Community, s.f.)

El controlador tiene protección IP67 y cumple con ISO 20653 e ISO 6469, siendo normativas para seguridad de alto voltaje para vehículos de carretera propulsados eléctricamente, y diseñado conforme ISO 16750 para requerimientos mecánicos, climáticos y ambientales intensos. El protocolo CAN utiliza los 2 primeros bytes para indicar el torque requerido en Nm. En el Anexo F se presenta el esquemático de la conexión Motor-Controlador.



Figura 4.61: Controlador PM250DZ (Cascadia Motion, s.f.)

Con relación a las baterías, se eligen las que tengan mejor relación kWh/kg y sean accesibles en el mercado. En la actualidad, existen tres tipos de batería de ion de litio para vehículos eléctricos. Las más recientes son las de factor de forma 4680, ofreciendo más autonomía, capacidad y potencia que su predecesora, la batería 2170. Al momento de realizar el presente trabajo, la batería 4680 no es accesible por venta retail, por lo cual se considera utilizar la 2170; sin embargo, si se encuentran mejores propuestas, el diseño del vehículo sería más liviano y con mayor autonomía. El módulo de baterías 2170 del fabricante Cascadia es adecuado para el vehículo por sus prestaciones, dimensiones, compatibilidad con sistema de gestión de baterías o BMS (battery management system) y peso. Un módulo es capaz de suministrar 1.7 kWh, 34 Ah y voltaje de hasta 59 V. En el Anexo F se presenta el datasheet y las recomendaciones de montaje, funcionamiento y esquemático recomendado por el fabricante. Se utilizará un arreglo de 3 módulos en serie y 3 cadenas en paralelo para conseguir 10.2 kWh con 60 kg de masa y hasta 352 V disponibles. Se puede apreciar una vista isométrica del módulo de baterías 2170 en la Figura 4.62.

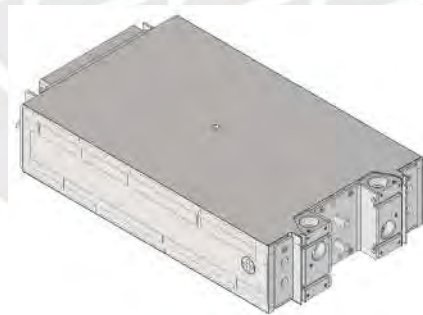


Figura 4.62: Mini Moduke de Batería Lithium Ion 2710 (Cascadia Motion, s.f.)

El componente encargado de asegurar las baterías y proteger los componentes eléctricos será el BMS. Se utilizará el Cascadia Motion BMS, recomendado para módulos de baterías 2170, cuenta con 4 conectores para interactuar con las baterías y sus componentes. Como elementos de protección, incluye fusibles de alta corriente, sensores de corriente y temperatura, relés de conexión/desconexión, y relés de resistencia de pre carga; todos obedeciendo a la máquina de

estados configurada en el BMS, según la Figura 4.63, donde se definen las rutinas para evitar el daño de los componentes. Las conexiones para el módulo BMS se muestra en el Anexo F como Circuito de Baterías. En la Figura 4.64 se aprecia una vista isométrica del BMS de Cascadia, el mismo fabricante cuenta con un módulo de recarga conectable a una fuente principal de edificio (220 Vac a 60 Hz) para recargar las baterías desde una tasa mínima de 6.6 kW.

Se considera que la mitad del tiempo de operación el vehículo se encuentra cargado y la otra mitad descargado; además, tomando en cuenta la potencia nominal de los motores (cerca a 100 kW), la optimización de torques y el desplazamiento omnidireccional, se propone emplear 10 módulos de baterías para obtener 34 Ah y 17 kWh, consiguiendo una autonomía entre 0.5 a 1 hora. Adicionalmente, el diseño modular permite agregar módulos de baterías (aumentar autonomía) al reducir la capacidad de carga; asimismo, se espera disponer de sistemas de energización con mejor densidad energética, obteniendo vehículos con menor peso y mayor autonomía.

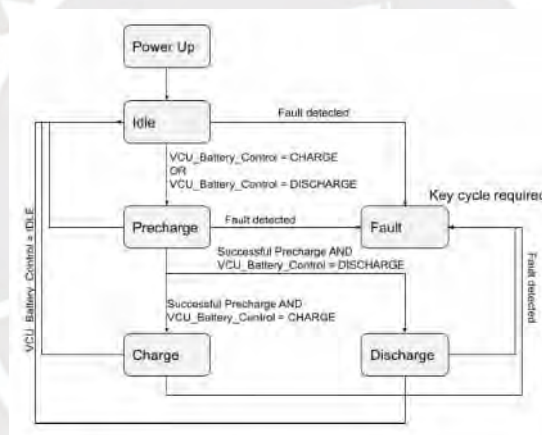


Figura 4.63: Máquina de estados de BMS Cascadia (Cascadia Motion, s.f.)

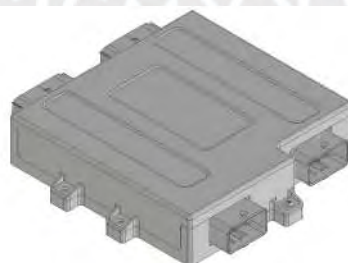


Figura 4.64: BMS Cascadia (Cascadia Motion, s.f.)

Las señales de torque, nivel de energía, alertas y demás, serán gestionadas por un controlador en comunicación con los drivers a través de bus CAN. Adicionalmente, el controlador deberá

conectarse con un gateway para intercambiar señales con la interfaz humano-máquina (HMI por siglās en inglés). Adicionalmente, el controlador debe recibir las señales de los sensores encargados de monitorear los objetos cercanos al entorno del vehículo y el nivel de carga de la tolva. En la 4.10 se muestra una comparación entre los diferentes controladores considerados:

Tabla 4.10: Comparativa entre Raspberry Pi Industrial, Arduino Mega y PLC Safety S7-1200F

Característica	Raspberry Pi Industrial	Arduino Mega	PLC Safety S7-1200F
Rendimiento	Procesador 4 GB RAM, múltiples tareas	Microcontrolador 8/16 bit, tareas simples	Procesador industrial 32 bit para tareas críticas
Conectividad	Ethernet, USB, GPIO, Wi-Fi, Bluetooth	USB, GPIO, Serial	Ethernet, Profibus, GPIO, com. industrial robusta
Grado de Protección	Personalizado	Sin protección	IP20
Protocolos de Comunicación	TCP/IP, GPIO, personalizables	Serial, I2C, Protocolos básicos	Profinet, Ethernet/IP, comunicación industrial
Dimensiones	8.8x5.8x1.9 cm	10.16x5.33 cm	11x10x7.5 cm
Facilidad de Programación	Python, C/C++, fácil acceso	Arduino IDE, C/C++, fácil para principiantes	TIA Portal, Ladder, requiere experiencia

Considerando que la gestión de las señales del entorno es una tarea crítica y que la conectividad con los drivers es directa mediante comunicación industrial, se considera el PLC Safety S7-1200F del fabricante Siemens como el controlador del vehículo. El PLC utilizará un módulo CAN para establecerse como maestro en conexión con los drivers de los motores.

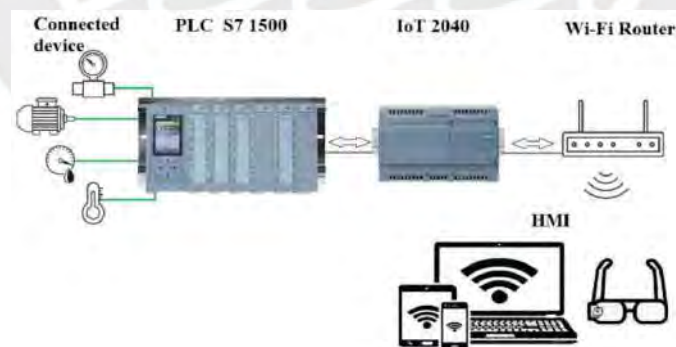


Figura 4.65: Implementación de IoT 2040 en un sistema de control (Kostoláni, Murín & Kozak, 2019)

Referente al sistema de sensores para alerta de proximidad y nivel de carga, se seleccionan los componentes encargados de detectar la presencia de obstáculos en el entorno y medir el nivel de llenado de la tolva. Se adjunta un cuadro comparativo de los sensores considerados:

Tabla 4.11: Comparación de sensores para entorno y tolva

Tecnología	Láser PSEN Scan	Ultrasonido ifm UGT	Infrarrojo MaxSonar HRXL
Alcance máx.	40 m	1.6 m	5 m
Tipo de señal	OSSD (digital)	4-20 mA (analógica)	PWM (5V)
Alimentación	24 VDC	24 VDC	5 VDC
Resolución	150 mm	3 mm	1 mm
Temp. de operación	-10 - 50 °C	-20 - 70 °C	-40 - 65 °C
Zona de detección	Radial 275°	Frontal 15°	Frontal 70°
Adicionales	Zonas simultáneas	Material inox 316	Sin zona ciega
Grado protección	IP65	IP67	IP67

Se define utilizar el sensor láser PSEN Scan, ideal para AGV (vehículos guiados autónomos por siglas en inglés), pudiendo reconocer 3 zonas en simultáneo: zona de detección de hasta 40 m, zona de advertencia y zona de detención. Estas zonas se pueden configurar de forma radial para cubrir cualquier superficie en el perímetro del vehículo. Se disponen 2 sensores aprovechando que tienen un alcance radial de 275° por 40 metros. Se propone el esquema de la Figura 4.66 para las 3 zonas de detección, tomando como la zona de detención un perímetro de 0.8 metros alrededor del vehículo y la zona de advertencia a los 2 metros. Cada zona es identificada por el controlador mediante salidas OSSD (Output signal switching device).

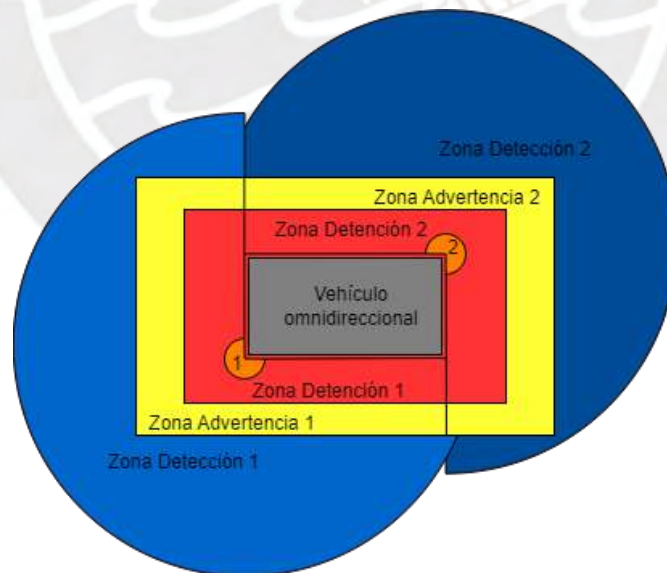


Figura 4.66: Zonas de detección de entorno con 2 sensores PSEN Scan

Para medir el nivel de la tolva se propone utilizar los sensores ultrasónicos UGT516 del fabricante ifm, permitiendo obtener una señal analógica de 4-20 mA para identificar el nivel de

llenado de la tolva, con un rango de alcance de 1600 mm. Para identificar el nivel de llenado y generar diferentes alarmas, se va a promediar la señal analógica de los 3 sensores enfocados el suelo de la tolva y dispuestos de forma cruzada (considerando los 15°) de alcance, según la Figura 4.67. Según el promedio de los 3 sensores se conocerá el nivel de la tolva conforme se va llenando en toda su longitud, teniendo una señal fina con resolución de 3 mm.

Para las señales de entrada de los sensores el PLC utilizará un módulo de entradas digitales de seguridad para las señales OSSD del sensor de entorno y un módulo de entradas analógicas para las señales del sensor de nivel de la tolva. El ensamble de estos componentes en adición con el módulo CAN, se visualiza en la Figura 4.78 montados en un gabinete de poliéster con grado de protección IP66.

Como gateway se usará el SIMATIC IoT 2040 de Siemens para envío y recepción de señales, entre PLC maestro y el HMI (interfaz humano-máquina por siglas en inglés) donde se encuentre el operario, mediante módulo Wi-Fi. En la Figura 4.65 se muestra un ejemplo de implementación del módulo IoT en un sistema de control remoto. En el Anexo F, en esquemáticos se puede apreciar las conexiones de los controladores y su alimentación.

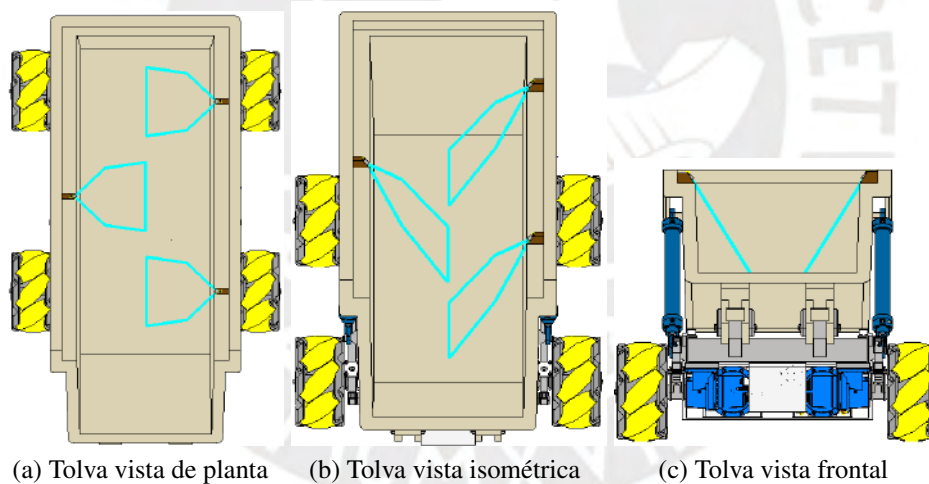


Figura 4.67: Disposición de sensores en tolva

En la Figura 4.78 se muestra un ensamble de los componentes electrónicos en un tablero con protección IP66. Por otro lado, el PLC será encargado de controlar el izaje utilizando sus salidas tipo relé de 24 VDC para comandar las electroválvulas y el contactor del sistema hidráulico. El motor que accionará la bomba hidráulica debe cumplir con los requerimientos calculados a continuación:

$$M_{theor} = \frac{V \cdot p}{2 \cdot \pi}$$

$$M_{theor} = \frac{10,9cm^3/rev \cdot 250bar}{2 \cdot \pi \cdot 10} = 40,98Nm$$

$$M = \frac{M_{theor}}{\eta_{hm}} = 46,57Nm$$

$$P_{in} = \frac{p \cdot Q}{600 \cdot \eta_{tot}} = \frac{250bar \cdot 29,9l/min}{600 \cdot 0,85} = 14,66kW$$

Se requiere un motor que suministre 46.57 Nm de torque con una potencia de 14.66 kW a 3000 rpm aproximadamente. Se define utilizar el motor DC de 20 HP de una unidad de presión hidráulica VEVOR que trabaja con 12 VDC. Dicho motor será energizado directamente del circuito de baterías y será accionado por una de las salidas de relé del PLC.

Finalmente, para la iluminación del vehículo se usan luces de advertencia LED que pueden alimentarse con 24 VDC con un consumo menor a 520 mA, estas luces se pueden montar en la tolva, contando con protección IP67 y permiten delimitar el perímetro seguro del vehículo, similar a iluminación en montacargas de plantas industriales, la iluminación propuesta se muestra en la Figura 4.68.



Figura 4.68: Luz de advertencia en perímetro de montacargas (RCT, s.f.)

4.3.2. Diagramas de conexión y alimentación

Con respecto a la alimentación de los componentes electrónicos, se considera el diagrama de la Figura 4.69. El banco de baterías está conectado en serie con un BMS para cada módulo; cada BMS se conecta con la alimentación del controlador/inversor de cada motor (300 VDC). Asimismo, de un módulo adicional escalado se alimentan los componentes de 24 VDC.

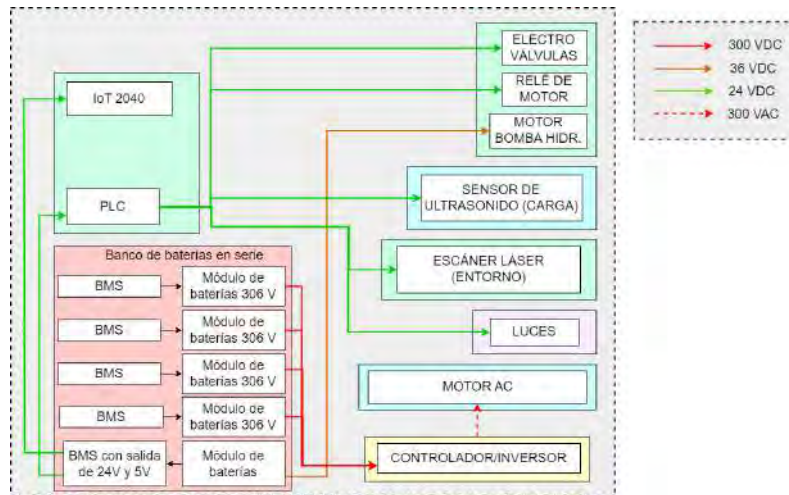


Figura 4.69: Diagrama de energización de componentes electrónicos

A continuación, se muestra el diagrama de comunicación y protocolos entre los componentes. El PLC recibe una señal analógica de 4 - 20 mA de los sensores de ultrasonido, para determinar el nivel de la tolva, además recibe las señales OSSD del escáner láser de entorno. Adicionalmente, utiliza sus salidas tipo relé para comandar la bomba y válvulas hidráulicas. Por otro lado, el PLC funciona como maestro y se conecta a los driver de cada motor mediante CAN bus, enviando las señales de torque requeridos para cada motor y recibiendo la señal de temperatura y velocidad para el control PID. Finalmente, el PLC se comunica con el IoT por Ethernet para transmitir información a la interfaz.

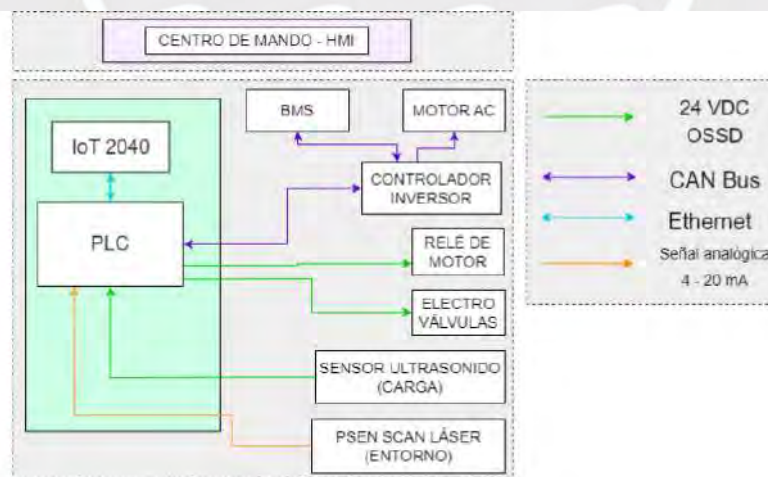


Figura 4.70: Diagrama de comunicación entre componentes electrónicos

El detalle de las conexiones de alimentación y comunicación se encuentra en el Anexo F en la parte de esquemáticos.

4.3.3. Diagramas de operaciones

En la presente sección se presenta el diagrama de operación general que sigue el vehículo y el que debe seguir el operario secuencialmente. Estos diagramas son realizados considerando las principales operaciones que se realizan en paralelo y se detallan a continuación:

- Diagrama de flujo para operario
- Diagrama de flujo general

En primer lugar, el diagrama de flujo para operario considera la secuencia de acciones necesarias para cumplir la rutina del vehículo, según mostrado en el Anexo G - Diagrama de flujo para operario. Primero se energiza el vehículo enclavando las baterías, luego se enciende el centro de mando y se confirma el enlace Wi-Fi. A continuación, se verifica si el nivel de batería es apropiado (>5%) para operar con normalidad, esperando los tres principales comandos del operario: operación de transporte, de descarga y parada de emergencia.

El diagrama mostrado en el Anexo G - Diagrama de flujo general, explica la programación en el vehículo, considerando los tres tipos de señales que podrá ingresar el operario, como las validaciones referentes al nivel de energía y a la correcta comunicación entre el vehículo y el centro de mando.

4.3.4. Implementación del control para izaje

El PLC es el encargado de controlar los cilindros hidráulicos, según esquema mostrado en el Anexo G - Esquema eléctrico de control de sistema hidráulico. En la parte superior se muestra el interruptor 1 (N.C.) que actuará como parada de emergencia y un switch de 3 posiciones para accionar la válvula biestable. Ambos switch serán accionados desde la interfaz del operario y la información será transmitida por Wi-Fi al PLC. En la parte inferior se encuentran las bobinas 2 y 3 de la electroválvula y el relé 4 como contacto de la motor de la bomba.

En el Anexo G - Programa para sistema hidráulico, se muestra la programación ladder del PLC. Esta programación considera las entradas del PLC (“I”), las salidas (“Q”) y las variables internas (“K”). La primera línea es la lógica de parada de emergencia. Si la parada de emergencia es accionada entonces ninguna de las líneas se energiza. Luego, las líneas 2 y 3 accionan el levante o descenso sin simultaneidad accionando las bobinas. La línea 6 es para que el contactor del motor se accione si se está realizando cualquier acción. El operario puede elegir y mantener en cualquier momento: levante, intermedio y descenso.

4.4. Diseño mecánico del vehículo

En la presente sección se procede a realizar el diseño mecánico y la disposición física del vehículo y sus componentes. Los elementos considerados a diseñar son los siguientes:

- Tolva
- Transmisión de potencia entre motor-reductor-rueda Mecanum
- Chasis

También se realiza la selección de la suspensión y finalmente los planos de despiece, sub ensamble y ensamble del vehículo (se adjuntan en Anexo H). En el ensamble final se aprecia la disposición física de todos los componentes. Finalmente se plantea simular la resistencia del chasis en los instantes de mayor exigencia por el método de elementos finitos.

4.4.1. Diseño y modelado de la tolva

Con respecto a la tolva o caja donde se almacena la carga a transportar por el vehículo, se detallan sus características:

- Capacidad en volumen de 8.8 m^3
- Masa de aproximadamente 02 toneladas
- Piso de acero ASTM-A36 de espesor 4.5 mm (factor de seguridad 2.5 para carga de 40 ton (Dávila, 2018))
- Travesaños reforzados con escuadras
- Soldadura GMAW o FCAW

En la Figura 4.71 se presenta el modelado de la tolva. Se aprecia el pivote tipo doble clevis en la parte inferior izquierda. El pivote de chasis-tolva está sometido a considerable esfuerzo, se plantea hacer un análisis de esfuerzos. El eje del pivote es parte del chasis y es insertado en la tolva, tiene un diámetro de 120 mm. Para obtener una mayor duración y seguridad en la tolva se recomienda utilizar un recubrimiento de goma SBR.

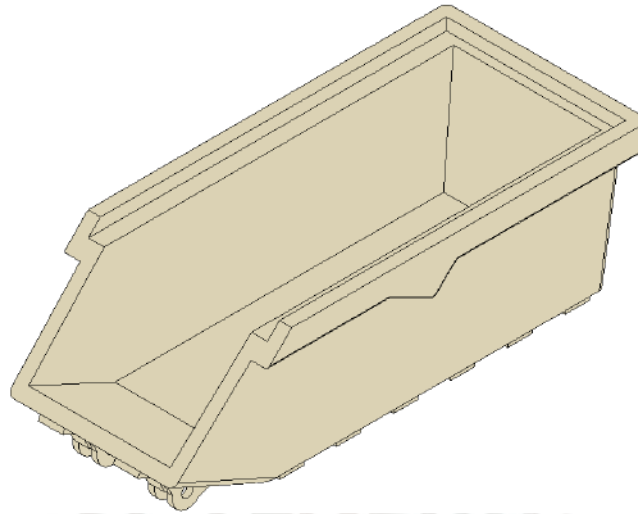


Figura 4.71: Vista isométrica de tolva de 8 m³

Se identifica el instante de mayor exigencia cuando los cilindros comienzan su extensión con la tolva llena (51.7 kN en tracción) y el instante opuesto es cuando las 02 toneladas de masa de la tolva vacía se encuentran apoyadas principalmente sobre el pivote (compresión). Ante ello se identifican los siguientes esfuerzos:

$$F_s = 51700kN$$

$$Peso_{tolva/pivote} = \frac{2000kg \cdot 9,81m/s^2}{2} = 9810N$$

$$Area_{eje} = \frac{\pi \cdot 120^2 mm^2}{4} = 11309,73mm^2$$

Considerando que se trata de esfuerzos alternantes de tracción y compresión, se identifican esfuerzo superior en tracción σ_s , inferior en compresión σ_i , medio σ_m y alternante σ_a :

$$\sigma_s = 4,57MPa$$

$$\sigma_i = |0,87|MPa$$

$$\sigma_m = 1,85MPa$$

$$\sigma_a = 2,72MPa$$

El pivote es hecho del mismo material que el chasis (acero ASTM A36 con resistencias a ruptura σ_B entre 400 y 550 MPa) llegando a cubrir 60° de revolución en aproximadamente 20 segundos (velocidad radial de 0.5 rpm). Se obtiene que el factor de seguridad para la fatiga del eje es mayor a 20, asegurando su resistencia mecánica en todo el proceso de descarga.

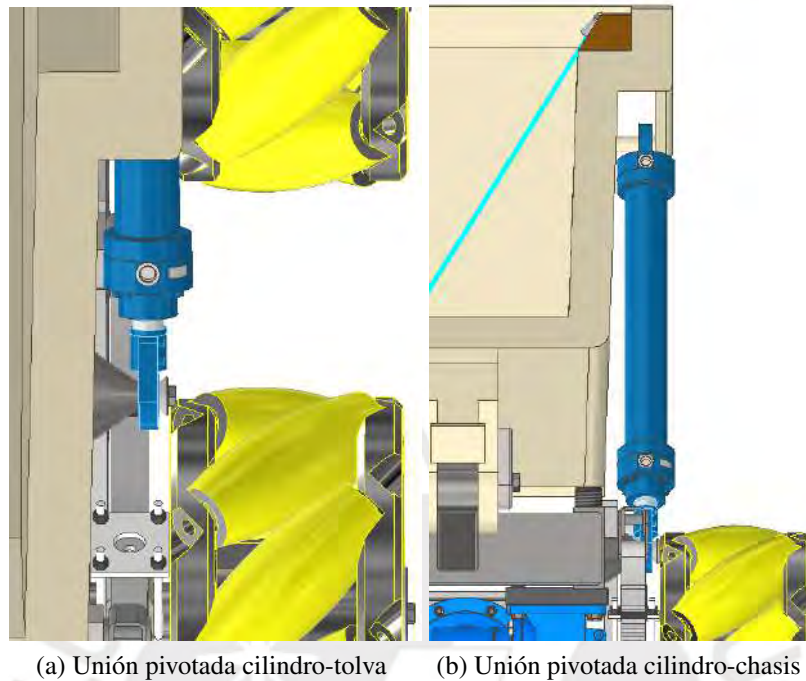


Figura 4.72: Unión de cilindro con tolva y chasis

En la Figura 4.72 se muestra el ensamble entre el cilindro (seleccionado en sub sección 4.1.1. y el chasis (izquierda) y la tolva (derecha). El área de sección de las uniones tipo clevis y horquilla es de $1963,5\text{mm}^2$, las uniones son sometidas solo a compresión por el peso de la tolva. El esfuerzo pulsante es de 24.33 MPa, y considerando el bajo valor de rpm y el material de la tolva, se asegura la resistencia de los pivotes del cilindro.

4.4.2. Elementos de transmisión de potencia

Se consideran los siguientes requerimientos para el diseño del tren motriz:

- Potencia pico del motor 180 kW con torque máximo de 415 Nm.
- Velocidad angular de funcionamiento del motor (w_i) 4 000 rpm.
- Torque máximo a salida del reductor 4 316 Nm.
- Velocidad tangencial de ruedas a salida del reductor mínimo de 8.33 m/s.

Se presenta una vista isométrica del sub ensamble de tracción en la Figura 4.73 conformado por rueda Mecanum (seleccionada en sub sección 4.2.1.), reductor Rossi, motor eléctrico AMR

e inversor/controlador (seleccionados en sub sección 4.3.1.). Se aprecia que los ejes del reductor son ortogonales, la conexión a su entrada es con brida métrica IEC para motor eléctrico tamaño 225, mientras que a la salida se ubica un eje de 100 mm de diámetro con una chaveta para transmitir potencia.

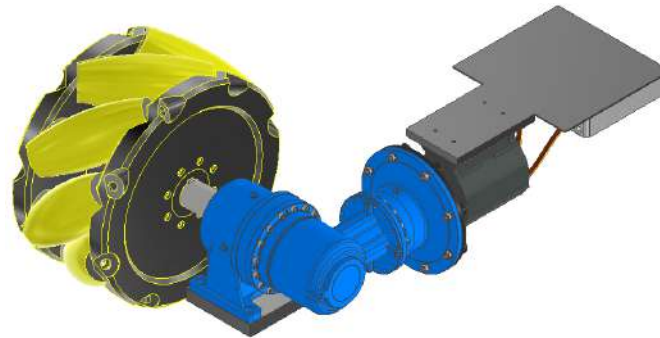


Figura 4.73: Sub ensamble de tracción

Con respecto a las ruedas Mecanum, el fabricante YouSheng especifica que tienen resistencia de 20 toneladas cada 4 ruedas con un eje de 100mm de diámetro. Se muestran dimensiones de la rueda en la Figura 4.74. La chaveta incorporada en el reductor es tipo A o DIN 6886 con conicidad de 1:100.

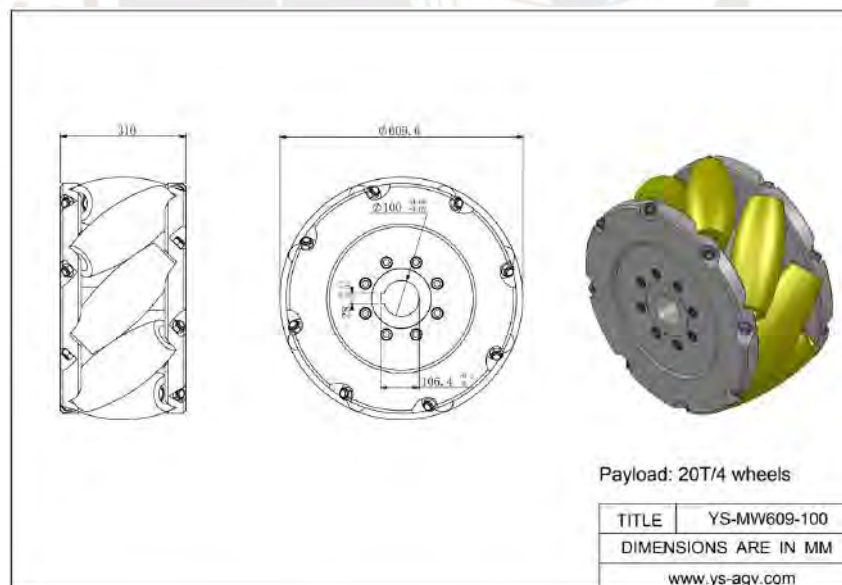


Figura 4.74: Dimensiones de YS-MW609-100 (YouSheng, 2022)

Dado que no es posible realizar los cálculos reales de la resistencia de la chaveta por los esfuerzos indeterminados, se procede a calcular la presión de flancos y se compara con los valores admisibles. Se utiliza la expresión siguiente para calcular la presión de flancos p:

$$p = \frac{F_u}{t_2 \cdot l_t \cdot i}$$

Donde F_u es la fuerza tangencial, t_2 es la profundidad de la ranura del cubo, l_t es la longitud portante de la chaveta e i es la cantidad de chavetas utilizadas para transmitir. Reemplazando:

$$F_u = \frac{M}{r} = \frac{3400Nm}{0,05m}$$

$$t_2 = 6,4, l_t = 310mm, i = 1$$

$$p = \frac{68000Nm}{6,4mm \cdot 310mm \cdot 1} = 35,96N/mm^2$$

La presión de flanco admisible es el producto de p_0 en N/mm^2 (presión admisible de 150 para acero) y p_{zul} (factor de seguridad para sollicitación alternante y con impactos fuertes de 0.45). En total, el valor de presión en flanco admisible es de:

$$p_{adm} = p_0 \cdot p_{zul} = 150 \cdot 0,45 = 67,5N/mm^2 \geq p = 35,96N/mm^2$$

Comparando con los valores experimentales, se obtiene que las presiones sobre la chaveta son permisibles y aseguran su funcionamiento.

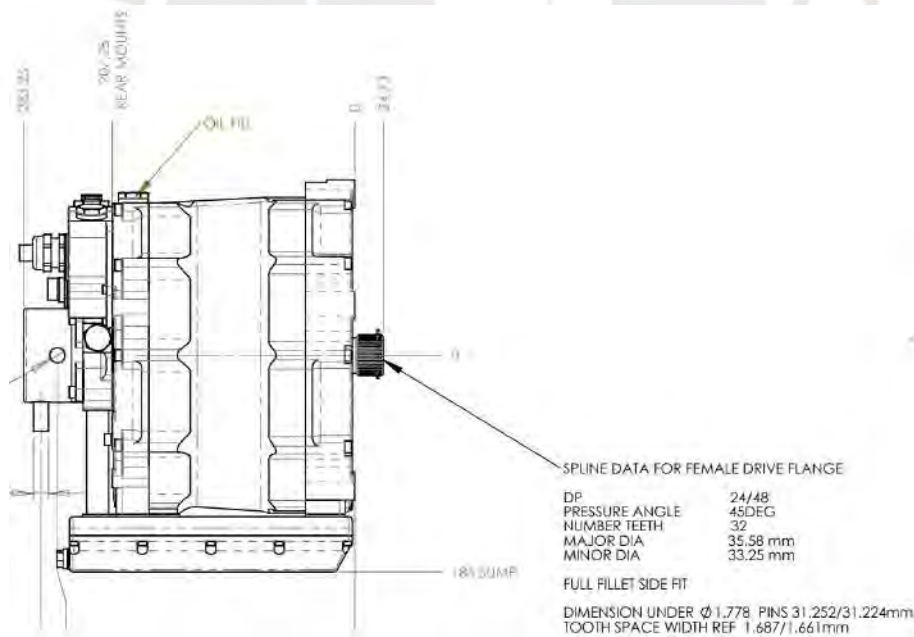


Figura 4.75: Ensamble general AMR 250 Splined (AM Racing, 2011)

Por otro lado, analizando el ensamble a entrada del reductor, el fabricante AMR del motor provee una salida de eje tipo ranurado que debe conectarse al reductor con una brida métrica IEC. Como solución, se decide diseñar un acople tipo brida de transmisión (drive flange en inglés), contando con eje ranurado tipo hembra y con las dimensiones de bridas normalizadas

IEC. En la Figura 4.75 se muestra la información proporcionada por el fabricante con respecto al eje ranurado a la salida de su motor.

En la Figura 4.76 se aprecia la brida de transmisión diseñada para el ensamble. Finalmente, para la fijación del motor y reductor, los fabricantes configuran sus bases para pernos M14 y M26 respectivamente.

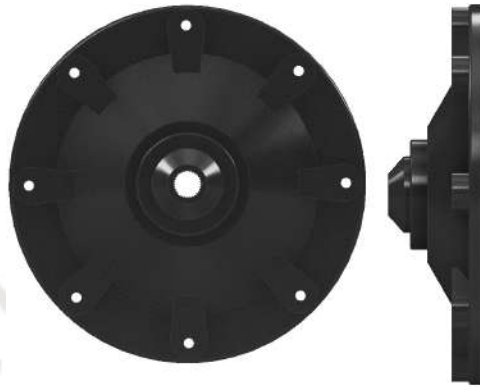


Figura 4.76: Brida de transmisión

Finalmente el controlador inversor PM250 se conecta al motor mediante 03 cables de cobre con aislamiento de calibre AWG 3/0. Dichos cables cuentan con un diámetro exterior de 18.9 mm y son capaces de soportar hasta 560 A de corriente alterna.

Los planos finales de los ensambles mencionados se encuentran en el Anexo H.

4.4.3. Ensamble de sistemas eléctricos, electrónicos e hidráulicos

En la Figura 4.77 se muestra una vista isométrica del sub ensamble hidráulico. Está compuesto por motor, bomba hidráulica de engranajes, válvula limitadora de presión, válvulas de distribución, válvulas estranguladoras, tanque hidráulico, manómetros y conexiones hidráulicas para los cilindros. Dicho sistema se encuentra posicionado en la parte posterior de la tolva, ello es mostrado en el ensamble general en el Anexo H.

En el ensamble se muestra el tanque hidráulico de 20 L aproximadamente con un manifold de 4 estaciones alimentado por la bomba. Los componentes metálicos están recubiertos con pintura epóxica azul. También se consideran 2 manómetros, a la salida de la bomba y al retorno a tanque. En las conexiones se utilizan acoplamientos Parker roscados según DIN 9974, adicionalmente se indica que la bomba y motor están conectados por una brida SAE "A". Los componentes hidráulicos han sido seleccionados en la sub sección 4.1.1.

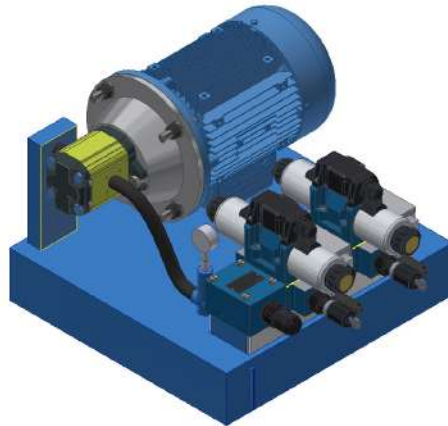


Figura 4.77: Sub ensamble de sistema hidráulico

Con respecto al sistema eléctrico y electrónico, los componentes de control van montados en un gabinete de poliéster de 400x400 mm de marca Rittal con protección IP66, con espacio para montar el PLC S7-1200F, módulo de entradas digitales de seguridad, módulo de entradas analógicas, módulo de comunicación CAN, IoT2040 y riel DIN para bornes y porta fusibles necesarios; todos estos componentes se aprecian en la Figura 4.78. El cableado hacia bobinas de electroválvulas, sensores, luces LED y motores se hará desde el gabinete de poliéster, utilizando prensa estopas y tuberías corrugadas conduit considerando protección y hermeticidad para las conexiones. El esquemático de los componentes del tablero se encuentra en el Anexo F, con el detalle de todas las conexiones, mientras que la selección se realizó en la sub sección 4.3.1.

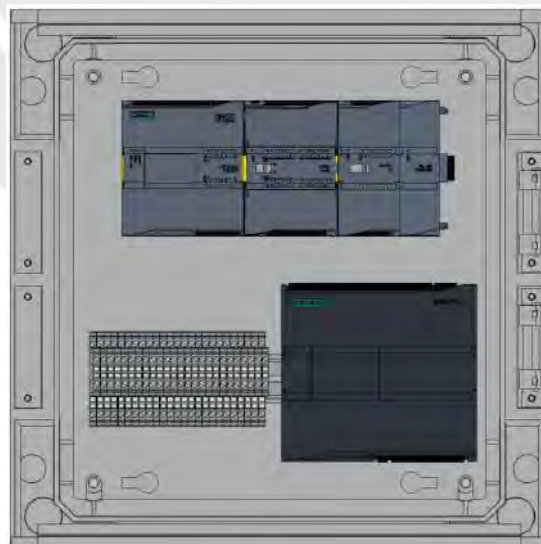


Figura 4.78: Sub ensamble de sistema electrónico

Las baterías de tracción, el controlador, el BMS y los motores van montados a lo largo del

chasis entre secciones de acero y cubiertos por láminas protectoras.

4.4.4. Elección y diseño de chasis y suspensión

Se utilizan ballestas como elementos encargados de transmitir el peso del vehículo hacia las ruedas, siendo este tipo de suspensión muy utilizado en camiones y vehículos de carga liviana. En la Figura 4.79 se puede apreciar una vista de la ballesta a utilizar en el vehículo, estas cuenta con 6 hojas (N), 80 mm de ancho por hoja (b), 12 mm de espesor (e) y 500 mm de longitud de semi cuerda (L); estas medidas también se aprecian en el plano mecánico en el Anexo H. Considerando un acero estructural A36 con resistencia máxima cercana a los 500 MPa (51 kgf/mm^2), se procede a calcular la carga que puede soportar una ballesta en cada extremo (F_s). Luego considerando las 4 ballestas, la carga debe ser mayor a la masa total propuesta del vehículo de 9 toneladas.

$$F_s = \frac{N \cdot b \cdot e^2 \cdot \sigma}{6 \cdot L} = \frac{6 \cdot 80 \text{ mm} \cdot 12^2 \text{ mm}^2 \cdot 51 \text{ kgf/mm}^2}{6 \cdot 500 \text{ mm}}$$
$$F_s = 1175 \text{ kg}$$

La carga total por ballesta sería

$$F_b = 1175 \text{ kg} \cdot 2 = 2350 \text{ kg}$$

La carga total del vehículo

$$F_{(total)} = 2350 \cdot 4 = 9400 \text{ kg} > 9000 \text{ kg}$$

El montaje de las ballestas cuenta con un apoyo fijo al chasis y otro móvil o pivotante utilizando dos gemelas para añadir un grado de libertad, de forma que su deformación sea en contra del esfuerzo. Estas van montadas al chasis y cuentan con un rodamiento para soportar el eje de las ruedas.



Figura 4.79: Sub ensamble de suspensión con ballestas

El chasis está conformado por perfiles de acero estructural normalizados. Para el perímetro se eligió utilizar DIN 1026-2 UPE 240 y 200 para las estructuras longitudinal y transversal respectivamente, como refuerzos transversales en el centro, se eligieron perfiles DIN 1025 - I 180. Adicionalmente, en la zona de montaje de reductores se añaden estructuras DIN 1026 UPE-400. El chasis contiene al eje del pivote de tolva con diámetro 120 mm, y los doble clevis que tienen un espesor de 40 mm y se encuentran unidos al chasis. También se consideran cartelas como refuerzo y agujeros en los perfiles para disminuir peso y favorecer los esfuerzos de flexión antes que cortantes.

En la Figura 4.80 se puede muestra el chasis del vehículo y el plano se encuentra en el Anexo H. Se obtiene una masa cercana a los 500 kg de todo el sub ensamble, se considera necesario recubrir el chasis con 2 capas de pintura, una primera base y segunda anti corrosiva para prolongar el tiempo de vida frente a condiciones de humedad.

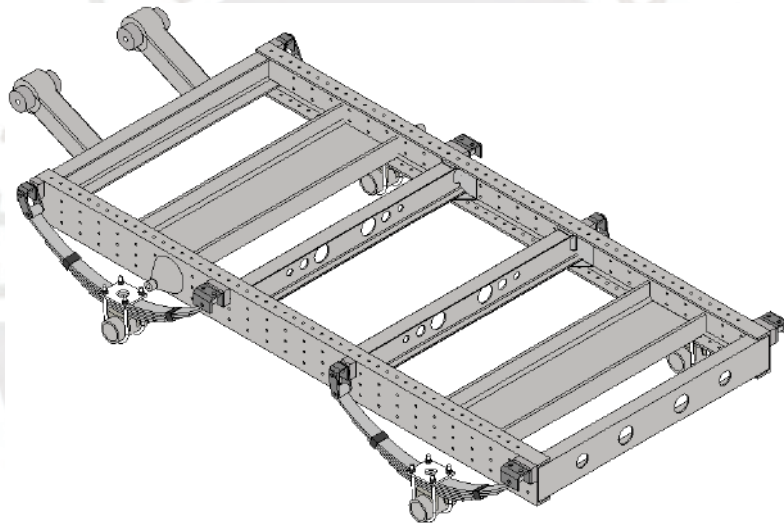


Figura 4.80: Sub ensamble de chasis y suspensión

En la Figura 4.81 se puede apreciar una vista isométrica del ensamble general del vehículo omnidireccional y sus subsistemas. El listado de componentes, detalles y dimensiones generales se encuentran en el Anexo H.

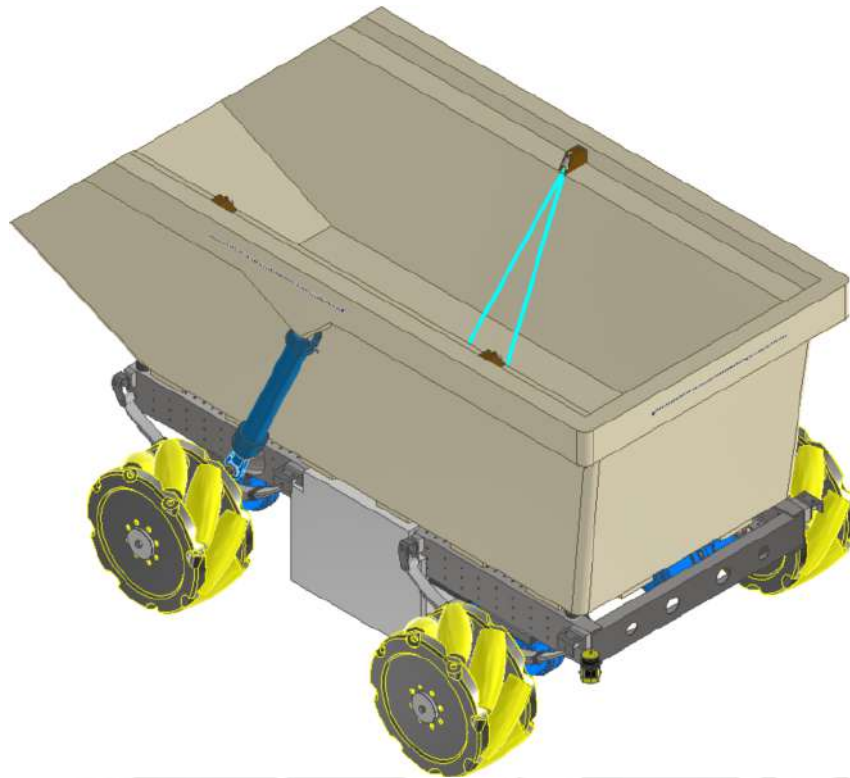


Figura 4.81: Ensamble general del vehículo omnidireccional

4.4.5. Simulación de resistencia en componentes por MEF

Habiendo concluido con el modelado del chasis se procede a hacer la simulación de la resistencia de los componentes mediante el método de elementos finitos. Se determina que los momentos de mayor exigencia en el vehículo son: Instante de recepción de carga total e instante de inicio de levante de tolva.

En el primer escenario, se considera que la tolva es apoyada en el chasis y el chasis es apoyado sobre las ruedas y sus suspensiones. El segundo escenario considera la fuerza de reacción sobre el chasis que compensa la fuerza generada por el cilindro en el sentido de su montaje inicial, también se considera una reacción en el pivote para compensar la fuerza horizontal del cilindro y así mantener la tolva en su pivote. Se identifican deformaciones, esfuerzos y factor de seguridad en el chasis.

En la Figura 4.82 se muestran las deformaciones del escenario 1. Las secciones longitudinales soportan esfuerzos de torsión, causados por el peso de la tolva apoyado sobre el chasis, y este mismo apoyado sobre la suspensión. Se presenta una deformación máxima de 0.12 mm concentrada en las secciones donde se apoya la suspensión y rueda.

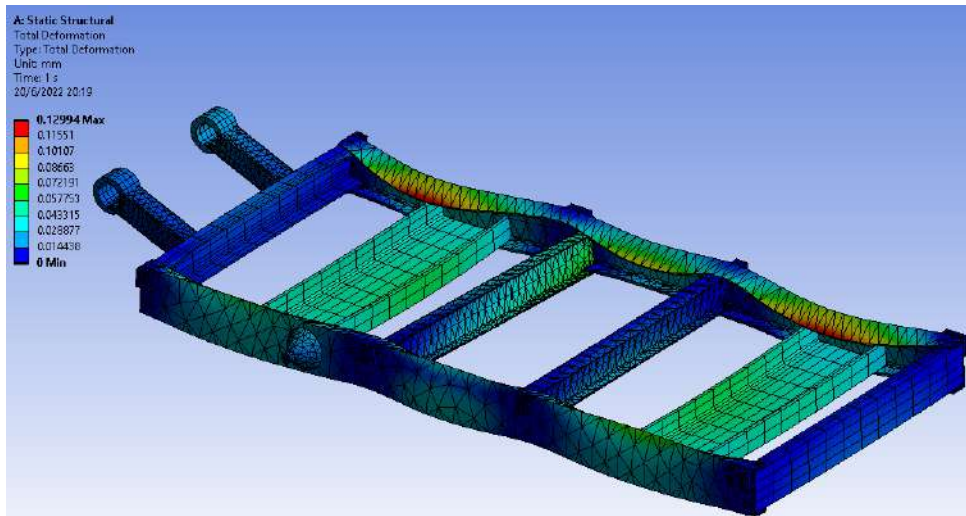


Figura 4.82: Sub ensamble de sistema hidráulico

En el segundo escenario mostrado en la Figura 4.83, el efecto de la tracción del cilindro genera deformación en la fijación del pivote de la tolva y en el apoyo del cilindro. Se registran deformaciones cercanas a 0.52 mm en la parte superior de la fijación de la tolva, mientras que en el apoyo del cilindro y la sección en U transversal del chasis, los valores oscilan entre 0.20 y 0.05 mm.

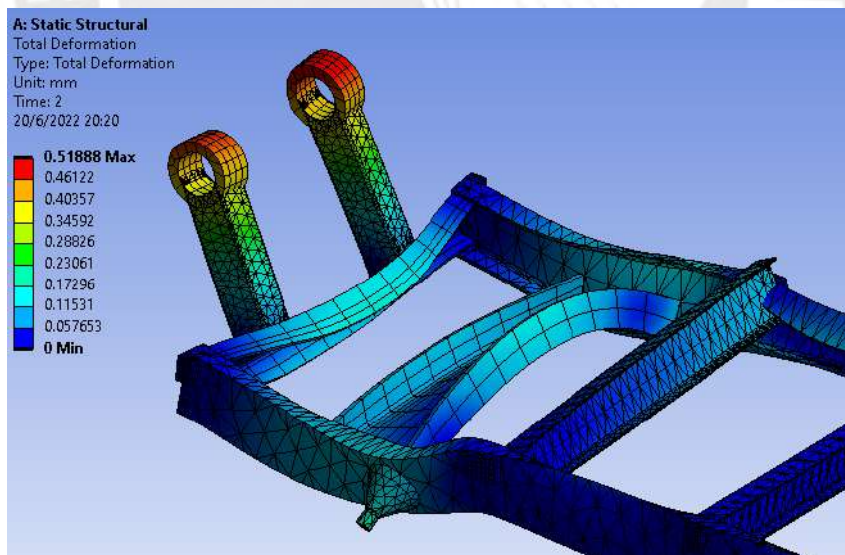


Figura 4.83: Sub ensamble de sistema hidráulico

A continuación se muestran los esfuerzos equivalentes para el primer escenario, encontrando que el esfuerzo máximo es puntual con valor de 55.91 MPa, al mismo tiempo que existe un esfuerzo promedio a lo largo del chasis de 10 MPa aproximadamente según se muestra en la

Figura 4.84.

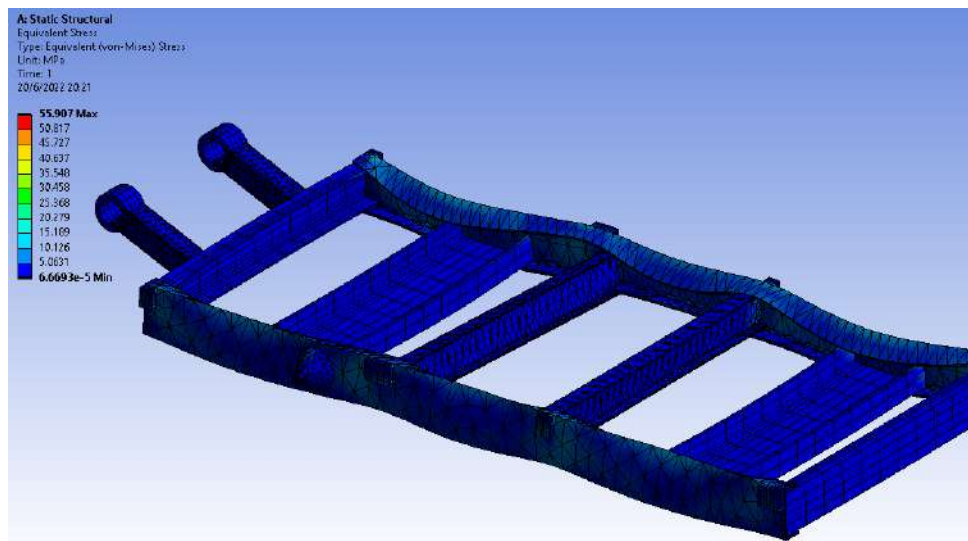


Figura 4.84: Sub ensamble de sistema hidráulico

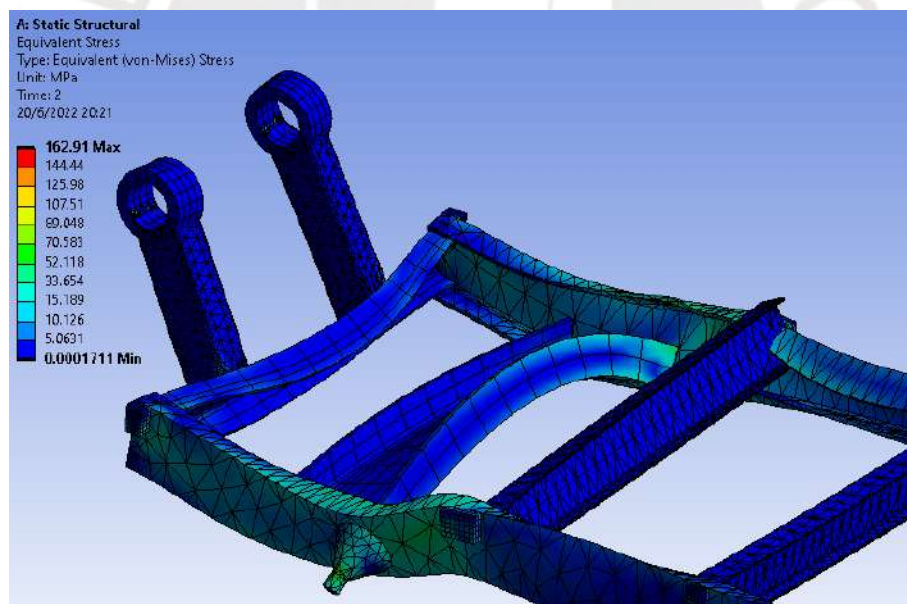


Figura 4.85: Sub ensamble de sistema hidráulico

Para el segundo escenario, el mayor esfuerzo puntual encontrado es de 162.91 MPa, ubicado en el pivote del cilindro, elemento que se resiste la fuerza de tracción para levantar la carga de la tolva. Asimismo, se puede apreciar que en una zona extensa cercana al pivote se presentan esfuerzos alrededor de los 50 MPa en promedio, como se aprecia en la Figura 4.85.

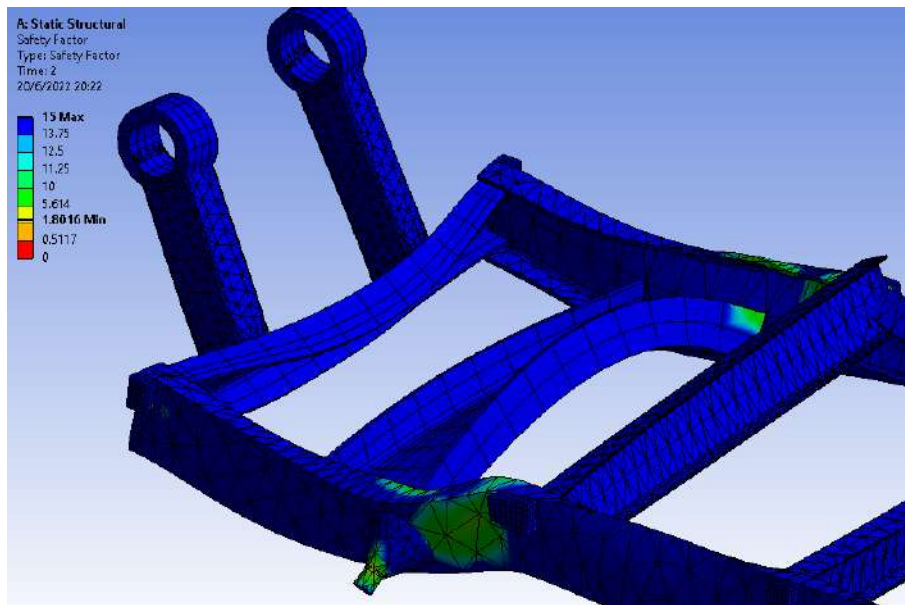


Figura 4.86: Sub ensamble de sistema hidráulico

Finalmente, el Factor de Seguridad (FS) promedio encontrado para el segundo escenario es de 13.74; sin embargo, también se encontró un valor crítico de FS 1.8, como mostrado en la Figura 4.86. Es importante identificar los puntos de mayor exigencia para hacer un análisis y proponer algún tipo de tratamiento térmico, elementos de refuerzo o un diseño que ayude a disipar los esfuerzos. Cabe resaltar que el inicio de la descarga es el instante de mayor exigencia, como también es un instante puntual tras el cual se vence la inercia inicial y los esfuerzos disminuyen.

Se puede comprobar que el chasis, bastidor, suspensión y demás elementos se han podido elegir de forma funcional y se puede asegurar la estabilidad de los componentes. Se notan sugerencias en cuanto al diseño y elección de algunos elementos en las Observaciones, puesto que los procesos de selección y diseño requirieron iteraciones para encontrar componentes y diseños que permitan obtener valores admisibles.

CAPÍTULO 5

INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA

La interacción entre el operario y el vehículo omnidireccional se realiza a través de un centro de mando que cuenta con una interfaz adaptada para monitor. En la interfaz propuesta se considera mostrar la información del vehículo, estados de los sensores y recibir los comandos de desplazamiento y accionamiento de cilindros por parte del operario. A continuación se muestran y describen cuatro estados de la interfaz.

El primer escenario mostrado en la Figura 5.87 muestra una interfaz sin conexión; se puede apreciar que en la zona inferior derecha no se tiene información del estado del vehículo (nivel de tolva, temperatura, batería). Asimismo, el Estado indica que no se cuenta con señal y la acción recomendada es "Reiniciar Conexión".

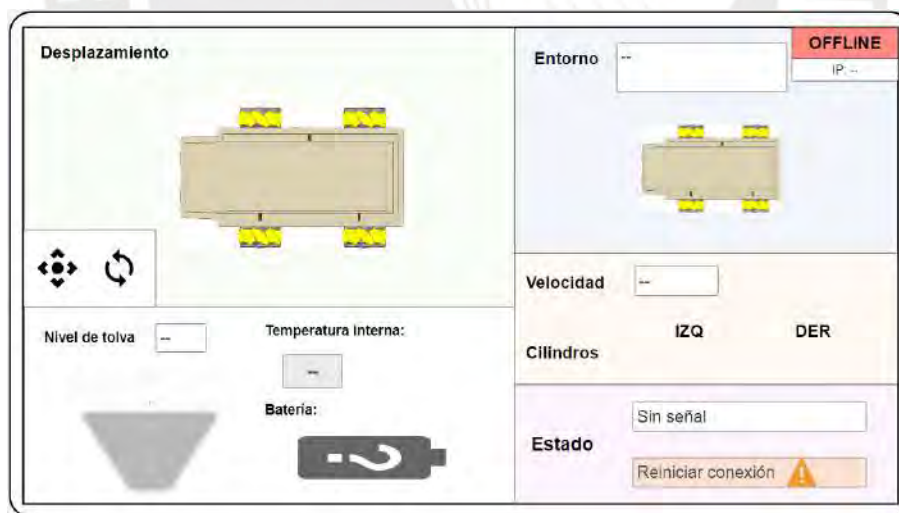


Figura 5.87: Interfaz de vehículo sin conexión

El segundo escenario de la Figura 5.88 muestra en la parte superior izquierda el desplazamiento del vehículo, las flechas aparecen según la velocidad del centro de gravedad del vehículo; el joystick de la parte central permite al operario comandar el vehículo, el movimiento del joystick se traduce en la velocidad deseada para el vehículo. En la parte superior derecha se muestra

la confirmación que confirma el vehículo está en línea y la dirección IP que ocupa la interfaz. También se puede apreciar el nivel de tolva en 25 %, dicho dato es un promedio de la detección de los sensores analógicos; mientras que la temperatura y nivel de batería son datos obtenidos de los módulos de baterías y BMS. Con respecto al entorno, los sensores PSEN Scan detectan un estado de advertencia, en la zona frontal del vehículo, ello se notifica como señales de advertencia en dirección de la detección, según sea la distancia se notifica: entorno libre, precaución o emergencia. En la parte central derecha se aprecia la velocidad de desplazamiento en tiempo real y el estado de los cilindros hidráulicos. Finalmente el estado indica que el vehículo se encuentra en desplazamiento y un nivel de precaución porque existe un obstáculo en el entorno, pero no llega a ser una emergencia.

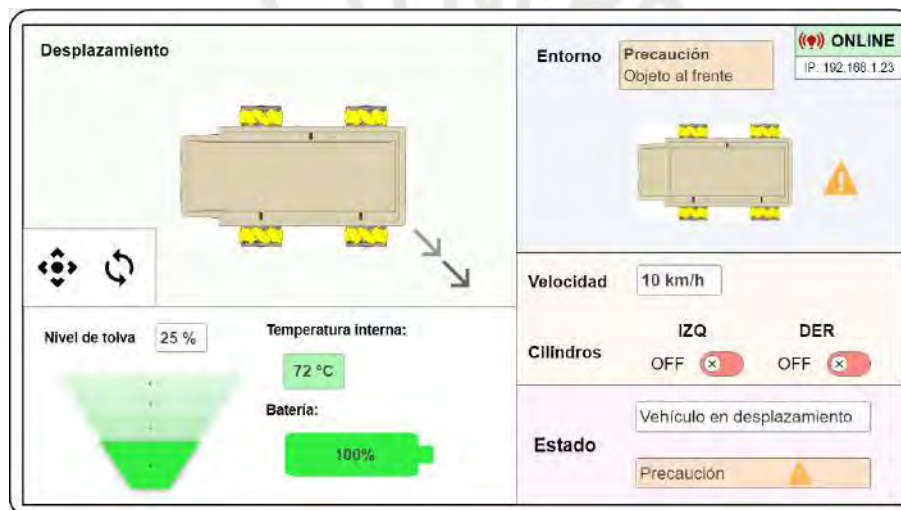


Figura 5.88: Interfaz de vehículo en desplazamiento, entorno en precaución, indicadores correctos

En el tercer escenario de la Figura 5.89 se aprecia que no existe desplazamiento por lo que no hay ninguna flecha; adicionalmente los parámetros de temperatura, batería y nivel de tolva han cambiado y se encuentran en modo advertencia. Por otro lado, el sensor de entorno detecta un obstáculo en la parte posterior que ha superado la distancia segura, y en la parte derecha como advertencia. Los cilindros han sido accionados y se encuentran en "ON". El estado general del vehículo es que se encuentra en descarga y en Emergencia por el entorno.

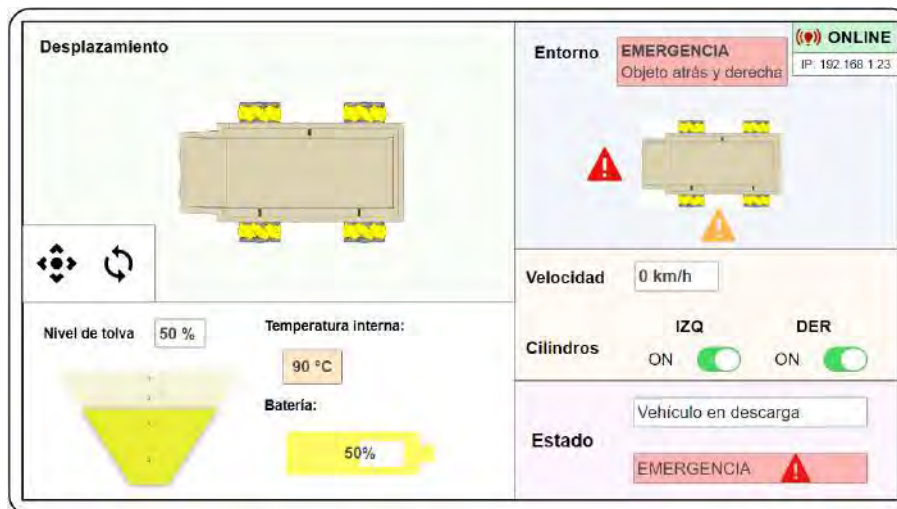


Figura 5.89: Interfaz de vehículo en descarga, entorno en emergencia, indicadores en advertencia

Finalmente, el cuarto escenario de la Figura 5.90 muestra al vehículo detenido, con un nivel de tolva cerca al máximo y una batería casi agotada. Con respecto al entorno, se encuentra libre sin obstáculos y los cilindros no han sido accionados. El estado general indica que el vehículo está en desplazamiento y para tener precaución se indica que la carga está en un 90 % de su capacidad.

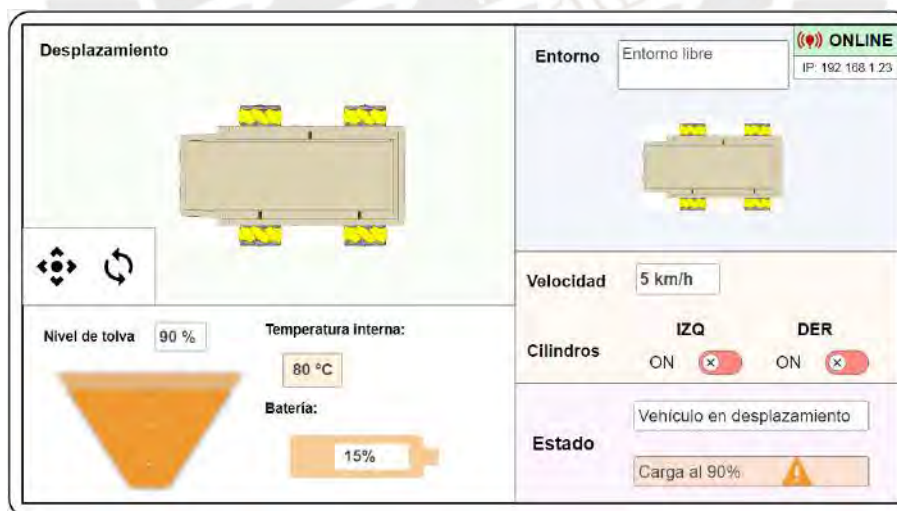


Figura 5.90: Interfaz de Vehículo en movimiento, indicadores en advertencia de carga

En la parte inferior derecha se resume el estado del vehículo, en el primer cuadro se indica si no se detecta señal, si el vehículo está en desplazamiento, en descarga o detenido; mientras que en el recuadro inferior se añade un mensaje de soporte al operario, como ejemplo: Reiniciar

conexión, Precaución, Emergencia, Carga al 90%, Batería baja, Temperatura interna crítica, entre otros. La interfaz intercambiará información a distancia por medio de Wi-Fi para poder operar y monitorear el vehículo en tiempo real.



CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE COSTOS

En la Figura 6.91 se exponen los costos asociados al desarrollo, ensamble, diseño, fabricación, compra de componentes, entre otros gastos necesarios para fabricar el vehículo eléctrico omnidireccional tele operado.

Presupuesto - Vehículo eléctrico omnidireccional para carga ligera

Ítem	Precio unitario	Cantidad	Total
Motor AC AMR-Remy HVH250-115	\$ 23,596	4	\$ 94,384
Cascadia-Rinehart Inversor/Controlador PM250DZ	\$ 19,145	4	\$ 76,580
Cascadia Motion Mini Módulo Baterías Li-Ion 2170	\$ 1,150	30	\$ 34,500
IGS 1600T Ethernet Switch Planet	\$ 200	1	\$ 200
SIMATIC S7-1200 Safety CPU 1212 DC/DC/DC Siemens	\$ 580	1	\$ 580
Gateway IoT 2040 Siemens	\$ 410	1	\$ 410
Escáner láser PSEN Scanner	\$ 4,500	2	\$ 9,000
Sensor ultrasonido UGT ifm	\$ 219	3	\$ 657
Set 4 Ruedas Mecanum Yousheng YS-MW609-100	\$ 16,500	1	\$ 16,500
Reductor Rossi EP i10.4 V3	\$ 1,250	4	\$ 5,000
Motor CC 10 HP ZH Energy Tech	\$ 550	1	\$ 550
Cilindro hidráulico doble efecto - CDH1MP3 100 70 80	\$ 600	2	\$ 1,200
Bomba de engranajes Casappa-Polaris PH 20 10.5	\$ 418	1	\$ 418
Valvula de presion Rexroth 1X DBDS P1X	\$ 410	1	\$ 410
Valvula direccional Rexroth 4WE 10 J5X	\$ 230	2	\$ 460
Valvula anti retorno Rexroth Z2S 10 3X	\$ 200	2	\$ 400
Costos fabricación local tolva, chasis y suspensión	\$ 30,000	1	\$ 30,000
Costos en accesorios eléctricos, hidráulicos, mecánicos	\$ 10,000	1	\$ 10,000
Costos adicionales en conexiones, cable, mangueras, otros	\$ 8,000	1	\$ 8,000
Costos de diseño, planos, simulación	\$ 5,000	1	\$ 5,000
Costos M.O. ensamble, almacenamiento, taller, traslados	\$ 20,000	1	\$ 20,000
Imprevistos (5%)	\$ 15,712	1	\$ 15,712
Utilidad (8%)	\$ 26,397	1	\$ 26,397
TOTAL			\$ 356,358

Figura 6.91: Análisis de costos para fabricación del vehículo

En la primera sección se encuentran los componentes eléctricos como motor, controlador, baterías, PLC, gateway, sensores, entre otros seleccionados y mencionados en el documento.

En la segunda sección se incluyen los elementos mecánicos e hidráulicos como las ruedas, reductores, motor, bomba hidráulica y electroválvulas. En la sección final se incluyen los gastos por fabricación local de chasis, tolva y suspensión; costos de accesorios eléctricos, hidráulicos, mecánicos, entre otros elementos consumibles necesarios para el montaje y ensamble; y los costos de diseño, simulación, mano de obra, ensamble, almacenamiento de componentes, traslado o flete de componentes y alquiler de taller; finalmente se presupuesta los imprevistos (5%) y utilidad (8%) del proyecto.

Es importante considerar que el costo operativo de un camión eléctrico tele operado puede representar un ahorro frente a un camión regular. Actualmente un camión grande en minería puede llegar a costar USD 4 millones, con una vida útil estimada de 15 años, mientras que un operario junior llega a ganar USD 800 mensuales hasta USD 1,400 cuando es un operario antiguo; por otro lado, otro costo adicional por consumibles se consideran los combustibles, llantas y lubricantes. Con respecto a la propuesta actual, la inversión representa menos de USD 500 mil, mientras que el operario debe ser personal capacitado, pero que no se encuentra en ningún escenario de riesgo; los consumibles son al energía eléctrica que consume el vehículo, el refrigerante de los componentes eléctricos y lubricante de los reductores. Existe gran potencial de reducir los costos de adquisición y operativos, aunque se requiere hacer un análisis más detallado con información específica.

CONCLUSIONES

- La omnidireccionalidad contempla como elemento principal a las ruedas, siendo estas las que otorgan a un vehículo la capacidad de rotar o trasladarse a cualquier punto en su mismo plano y de forma inmediata. El diseño o elección de las ruedas representa un factor importante para cumplir con los objetivos del vehículo. Considerando los requerimientos de carga y reconociendo los terrenos presentes en el entorno de las minas, se concluye que la mejor alternativa es la utilización de ruedas Mecanum de trabajo pesado, por su buen desempeño con carga pesada y capacidad de tracción.
- La elección del motor para la presente aplicación representa ventajas relevantes relacionadas al control, desempeño y ahorro de energía. El motor seleccionado permite un control preciso en tiempo real con protocolo CAN, proporcionando mayor seguridad en las maniobras tele operadas; es capaz de accionarse en ambos sentidos, función necesaria para dotar de omnidireccionalidad; y presenta una elevada eficiencia, frente al motor de combustión actual, que permite ahorrar energía y no genera emisiones de carbono.
- La utilización de un chasis en caja es la mejor alternativa para el presente trabajo, considerando que facilita la disposición de los componentes que tienen grandes dimensiones, permite distribuir el peso de forma uniforme y considera un fácil acceso al mantenimiento de los componentes internos. Cabe resaltar que los materiales definidos para la fabricación del chasis deben ser considerados para poder asegurar su desempeño.
- El sistema hidráulico móvil seleccionado cumple con los requerimientos del vehículo para descargar 06 toneladas de carga, además de ser compacto y utilizar elementos comerciales y estandarizados. Adicionalmente, el desempeño ha sido comprobado con cálculos y simulaciones; y la tele operación del sistema permite una descarga de forma segura y asistida.
- Se pudo verificar mediante simulación que considerando las dimensiones del vehículo e implementando un controlador PID, este puede cumplir de manera satisfactoria con

cualquier requerimientos de velocidad y desplazamiento ingresado por un operario, asegurando una maniobra simple y segura.

- Las baterías disponibles actualmente en el mercado retail permiten el diseño del vehículo con autonomía limitada y carga ligera. Se espera poder mejorar la densidad energética, permitiendo mayor autonomía y reduciendo el peso y cantidad de baterías necesarias.
- La suspensión con ballestas del vehículo y un chasis con elementos de acero al carbono han sido simulados y se asegura la capacidad de soportar la carga, descarga y transporte de 06 toneladas.



RECOMENDACIONES

- El presente trabajo se presenta como solución al transporte de carga pesada en minería; sin embargo, el diseño modular del vehículo permite adaptarlo para diferentes sectores o actividades donde se pueda aprovechar su funcionalidad y eficiencia.
- Se recomienda verificar el estado actual de la tecnología de baterías y motores, en orden de conseguir mejorar la relación energía/peso que presentan los componentes electrónicos de alta potencia utilizados, para tener vehículos de mayor potencia y autonomía, con menor peso.
- El chasis del presente vehículo utiliza únicamente acero, considerando la disponibilidad del material; sin embargo, en la actualidad existen materiales que presentan propiedades mecánicas aproximadas con menor densidad, por lo cual el diseño del chasis del vehículo podría mejorar con otros materiales de alta resistencia y con un menor peso.
- La interacción con el entorno utiliza sensores, luces y altavoz; sin embargo, es posible mejorar el vehículo con componentes como LIDAR, cámaras, balizas o bocinas en conjunto con algoritmos de aprendizaje máquina o inteligencia artificial para automatizar su operación y asegurar el entorno totalmente.
- Se puede realizar un análisis económico a detalle, considerando el ahorro que representa este tipo de vehículos con respecto al costo operativo frente a las tecnologías actuales que dependen de hidrocarburos y representan un gran riesgo.
- Finalmente, el presente trabajo propone una posible interfaz humano-máquina; sin embargo, se considera crucial el desarrollo a detalle y verificación del sistema de comunicación inalámbrico a distancia en entornos complejos (largas distancias, presencia de obstáculos, entre otros), para así poder concluir completamente el diseño y validar que el vehículo puede ser utilizado en zonas de actividad minera de forma remota.

BIBLIOGRAFÍA

- Abd Mutalib, M. A., & Azlan, N. Z. (2020). Prototype development of mecanum wheels mobile robot: A review. 1(2). Malaysia: Applied Research and Smart Technology (ARSTech). Obtenido de <https://journals2.ums.ac.id/index.php/arstech/article/view/39>
- AM Racing. (2011). MAIN ASSEMBLY AMR250-90 SPLINED.
- Almela, D. (s.f.). El motor eléctrico en el sector automotriz: ¿Debe SEAT apostar por él?. Barcelona, España.
- Bilgin, B., Magne, P., Malysz, P., Yang, Y., Pantelic, V., Preindl, M., ... & Emadi, A. (2015). Making the case for electrified transportation. 1(1). IEEE Transactions on Transportation Electrification.
- Campos Siurana, A. (Julio de 2018). Diseño e implementación de un vehículo de cuatro ruedas omnidireccionales. Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. Valencia: Universitat Politecnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/111658>
- CAT. (2010). CAT 785D. Camión minero Obtenido de: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C658975>
- CAT. (2012). CAT 797F. Camión minero. Obtenido de: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C782781>
- CAT. (2012). CAT 770G. Obtenido de Off-Highway Truck: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C733453>
- CASAPPA. (2024). BOMBAS HIDRÁULICAS, MOTORES, SISTEMAS ELECTROHIDRÁULICOS & FILTROS. Obtenido de <https://www.casappa.com/c/downloads/download/130/>
- Cascadia Motion. (s.f.). DS-250-115 Dual Stack. Obtenido de <https://www.cascadiamotion.com/productlist/15-motors/10-cm-motors/9-ds-250-115>
- Cascadia Motion. (s.f.). Mini Module. Obtenido de <https://www.cascadiamotion.com/productlist/20->

battery-bms/15-mini-module

- Cascadia Motion. (s.f.). PM250 (250+kW). Obtenido de <https://www.cascadiamotion.com/productlist/14-inverters/8-pm-inverters/3-pm250>
- Dávila Reátegui, Lenin. (2018). Diseño óptimo de tolva para semirremolque tipo bombona de 30 m³ para la empresa Fama Andina S.A.C. en la ciudad de Trujillo. Obtenido de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25296>
- De Lucena, S. E. (2011). Electric vehicles-the benefits and barriers. A survey on electric and hybrid electric vehicle technology. Croatia: IntechOpen.
- Doroftei, I., Grosu, V., & Spinu, V. (2007). Omnidirectional mobile robot-design and implementation. INTECH Open Access Publisher.
- Dubowsky, S., Genot, F., Godding, S., Kozono, H., Skwersky, A., Haoyong, Y., & Long Shen, Y. (Abril de 2000). PAMM - a robotic aid to the elderly for mobility assistance and monitoring: a "helping-hand" for the elderly. In Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No. 00CH37065), 1. IEEE. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/844114/>
- El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (2007). Reglamento N° 715/2007 sobre la homologación de tipo de vehículos de motor por lo que refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los v. (EUR-Lex, Ed.) Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0715&from=ES>
- El Peruano. (2023, octubre 31). Minería aportará el 9.5% al PBI nacional este año. Obtenido de <https://www.elperuano.pe/noticia/241323-mineria-aportara-el-95-al-pbi-nacional-este-ano/>
- Emadi, A., Joo Lee, Y., & Rajashekara, K. (Mayo de 2008). Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles. 55(6). IEEE Transactions on industrial electronics.
- Flores Álvarez, P. A. (2016). Modelling, simulation and experimental verification of a wheeled-locomotion system based on omnidirectional wheels. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7554>
- Hydraulic-calculation. (s.f.). Online hydraulic calculations, converter physical units. Obtenido de Cilindros hidráulicos: <http://www.hydraulic-calculation.com/es/article.php?ID=16>
- INEI. (2019). Evolución de la demanda interna impulsó crecimiento del PBI en 1.2% en el segundo trimestre de 2019. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/evolucion-de-la-demanda-interna-impulso-crecimiento-del-pbi-en-12-en-el-segundo-trimestre-de-2019->

11734/

- INEI. (2024). Producto Bruto Interno se expandió 3,6% en el segundo trimestre de 2024 impulsado por la demanda intern. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/inei/noticias/1008332-producto-bruto-interno-se-expandio-3-6-en-el-segundo-trimestre-de-2024-impulsado-por-la-demanda-interna>
- International Energy Agency. (2020). CO2 emissions from heavy-duty vehicles in the sustainable development scenario, 2000-2030. Obtenido de <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/co2-emissions-from-heavy-duty-vehicles-in-the-sustainable-development-scenario-2000-2030>
- KOMATSU. (2017). Camión rígido fuera de carretera. Obtenido de HD 785-7: <https://webklat.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2018/10/05193005/Cat%C3%A1logo-Cami%C3%B3n-HD785-7E-esp%C3%B1ol-digital.pdf>
- KOMATSU Latinoamérica. (2016). Destacada participación de Komatsu en MINExpo 2016. Obtenido de <https://www.komatsulatinamerica.com/argentina/donec-eget-elit-vel-sem-mollis-commodo-sit-amet-sit-amet-justo-4/>
- Kostoláni, M., Murín, J., & Kozák, Š. (2019, June). Intelligent predictive maintenance control using augmented reality. IEEE. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8815042>
- Lavado Gervacio, M. R. (2019). Aumento de la producción de pala rh90c y reducción de sobrecargas de camión minero Cat 777 mediante la eliminación del último pase en el carguío con pala rh90c. en la unidad Minera la Arena SA. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13399>
- MathWorks Student Competitions Team (2024). Mobile Robotics Simulation Toolbox. Disponible en <https://github.com/mathworks-robotics/mobile-robotics-simulation-toolbox>
- Ma, R., Wang, W., Wang, L., Sun, D., Yao, X., Tian, H., He, J., Ma, X., Ma, N., Bao, H., Yang, B., & Liu, H. (2021). Coal mine tunnel inspection robot (CN216278009U). Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de China. Obtenido de <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/081043818/publication/CN216278009U?q=pn%3DCN216278009U>
- Ministerio de Energía y Minas. (Julio de 2018). MINEM - Gobierno del Perú. Mapa de principales proyectos mineros 2018
- Nikkei Asia. (2019). Isuzu tackles emerging rivals and R&D costs with Volvo tie-up. Obtenido de <https://asia.nikkei.com/Business/Automobiles/Isuzu-tackles-emerging-rivals-and-R-D-costs-with-Volvo-tie-up2>

- Osinergmin. (Diciembre de 2019). Reporte de análisis económico sectorial. Sector minería. Relación actual y futura entre el sector minero y el sector eléctrico.
- Palafox Alvarado, G. I. (Diciembre de 2009). Diseño y construcción de un vehículo eléctrico con variador de velocidad mediante un convertidor CD - CD. Oaxaca: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Peña Ordoñez, C. (2011). Estudio de baterías para vehículos eléctricos. Madrid, España. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/11805>
- Ramirez-Serrano, A., & Kuzyk, R. (2010). Modified mecanum wheels for traversing rough terrains. IEEE. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5442595>
- Ramos Calambas, D. (2020). Modelado y control del motor sincrónico de imanes permanentes para aplicación en vehículos eléctricos. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/handle/10614/12364>
- Ransom, S., Krömer, O., & Lückemeier, M. (2008). Planetary rovers with mecanum wheels. Obtenido de https://robotics.estec.esa.int/ASTRA/Astra2008/S14/14_04_Ransom.pdf
- RCT. (s.f.). Luz de Advertencia LED para Montacargas. Obtenido de: <https://rct-global.com/es/datasheet/forklift-led-line-light/>
- Ren, W., Wang, G., Yang, F., & Zhao, P. (2021). Automatic tarpaulin covering device for mine car (CN219096580U). Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de China. Obtenido de <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/086453256/publication/CN219096580U?q=pn%3DCN219096580U>
- Revista Minería y Energía. (2024). Venta de vehículos pesados crece 7.1 % por minería: los otros factores que impulsarían alza. Obtenido de <https://mineriaenergia.com/venta-de-vehiculos-pesados-crece-7-1-por-mineria-los-otros-factores-que-impulsarian-alza/>
- Rumbo Minero. (2019). Automatización en minería: Control, Eficiencia e Integración en Operaciones. Obtenido de <https://www.rumbominero.com/wp/revista/informes/automatizacion-en-mineria-control-eficiencia-e-integracion-en-operaciones/>
- Rossi Part Community. (s.f.). Serie EP Reductores y motorreductores planetarios. Obtenido de <https://rossi.partcommunity.com/3d-cad-models/rossi?info=rossi&cwid=1809>
- SANDVIK. (s.f.). My SANDVIK. Automine Lite
- Santiago Martinez, R. S. (2009). Control y comportamiento de robots omnidireccionales. Proyecto de grado, Instituto de Computación. Montevideo, Uruguay: Facultad de Ingeniería

- ría, Universidad de la República. Obtenido de <https://www.fing.edu.uy/inco/grupos/mina/pGrado/easyrobots/doc/DisMecanico.pdf>
- Sanz Arnaiz, I. (Junio de 2015). Análisis de la evolución y el impacto de los vehículos eléctricos en la economía europea. Madrid. Obtenido de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/3803>
- Soylu, S. (2011). Electric Vehicles: Modelling and simulations. IntechOpen.
- Tan, Q., Dai, P., Zhang, Z., & Katupitiya, J. (2018). MPC and PSO Based Control Methodology for Path Tracking of 4WS4WD Vehicles. 8(6). Applied Sciences. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/6/1000>
- The International Council on Clean Transportation. (2014). Taller Estrategia Nacional para Combustibles y vehículos más limpios y eficientes en el Perú. Control de emisiones para vehículos pesados. Lima, Perú.
- Triana Barreda, E. (Febrero de 2019). Baterías de tracción para vehículos eléctricos. Valladolid, España: Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/34863>
- VDI 2221. (1986). Guidelines. Systematic Design. Systematic approach to the design of technical systems and productos.
- VOLVO CE. (2017). Volvo Construction Equipment. Obtenido de Volvo CE unveils the next generation of its electric load carrier concept: <https://www.volvoce.com/global/en/news-and-events/press-releases/2017/conexpo-vegas-2017/volvo-ce-unveils-the-next-generation-of-its-electric-load-carrier-concept/>
- YouSheng (2022). Plano YS-MW609-100
- Zeraoulia, M., Diallo, D., & Benbouzid, M. (2006). Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study. 55(6). IEEE Transactions on Vehicular technology. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4012550>

ANEXOS



Anexo A: Lista de requerimientos

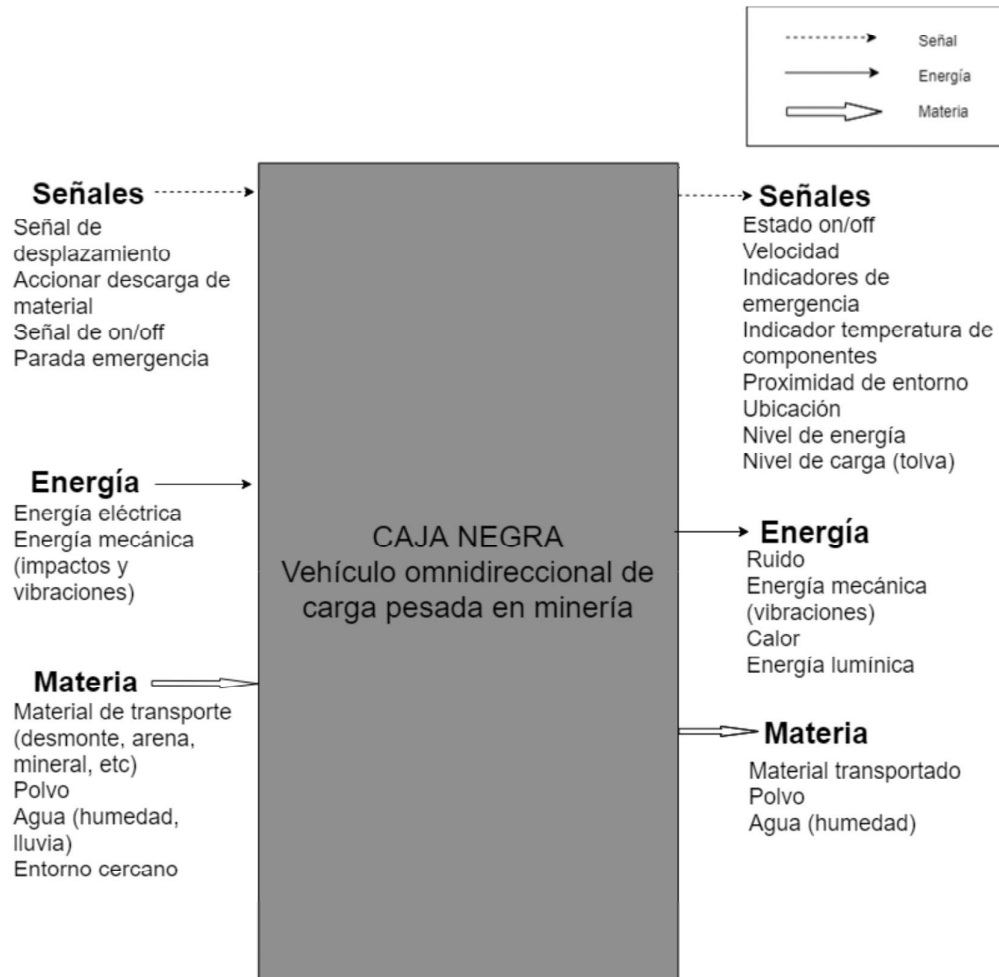
LISTA DE REQUERIMIENTOS		Edición: 2
		Fecha: 20/05/2022
PROYECTO:	VEHÍCULO ELÉCTRICO OMNIDIRECCIONAL PARA CARGA LIGERA EN MINERÍA	
UNIVERSIDAD:	Pontificia Universidad Católica del Perú	
	Elaborado: Kirck Vera Alfaro	
Fecha	Deseo o Exigencia	Descripción
13/5/2021	D	a) Geometría Dimensiones máximas: Largo 4.5m y ancho 2m
13/5/2021	D E	b) Cinemática Velocidad máxima de 30km/h Implementar locomoción omnidireccional
20/5/2022	E E	c) Fuerzas Máxima capacidad de carga útil es 6 000 kg Proceso de descarga y transporte sin presentar volcadura
13/5/2021	E E	d) Energía Utilizar energía eléctrica como mínimo en el 80% de la alimentación total Energización debe ser capaz de suministrar 40 kW/h
13/5/2021	E E D	e) Materia Amortiguar impacto al cargar material en el vehículo Asegurar y soportar el transporte del material frente al terreno irregular Se debe priorizar transmitir potencia con mayor torque
13/5/2021	E E	f) Control Algoritmo de control para desplazamiento teleoperado, considerando sistema omnidireccional y motores eléctricos Implementar control de emergencia con fin de evitar accidentes
13/5/2021	E D E	g) Electrónica Circuito de potencia debe permitir el control de los motores todo el tiempo de funcionamiento Sistema de retroalimentación permite conocer la temperatura del circuito de potencia Alimentación con voltajes nominales a grupo de sensores y actuadores
20/5/2022	E	h) Fabricación Materiales para fabricación de chasis/bastidor serán los siguientes con sus correspondientes resistencias: Secciones principales de acero estructural A36 (500 Mpa) y piezas de fundición (550 Mpa)
13/5/2021	E	i) Uso Asegurar funcionamiento en siguientes condiciones de minería: Altura entre 3500-5000 m.s.n.m., temperaturas entre 0-20 °C, humedad relativa máxima de 85%
13/5/2021	D E	j) Mantenimiento Considerar un mantenimiento poco frecuente, cada 200 h de operación Mantenimiento de simple acceso, levantando la tolva se tiene acceso a sistemas de energización, izaje, transmisión de potencia y suspensión

20/5/2022	D	k) Costos Se considera el costo del prototipo dimensionado para soportar cargas de 6 t menor a USD 500 000
20/5/2022	D	l) Plazos El presente trabajo considera finalización y entrega para el mes de abril del 2023
15/5/2021	E E E	m) Interfaz El sistema de teleoperación implementa botones para emitir señales definidas En el mando de teleoperación se podrán percibir indicadores de diferentes parámetros del sistema El vehículo presentará señales de acción preventiva y emergencia con el entorno cercano (sonidos e iluminación)
15/5/2021	E E	o) Señales Se manejarán señales de entrada al sistema que especifiquen el desplazamiento a realizar, el accionamiento de la descaga, orden de on/off y una parada de emergencia; que serán accionadas por el tele operador Las señales que salen del sistema indicarán lo siguiente: On/off, velocidad, situación de emergencia, temperatura de comp. electrónicos, proximidad entorno, ubicación rel. del vehículo, nivel de energía y nivel de carga
15/5/2021	E	p) Comunicación El control teleoperado permitirá una distancia máxima de 80 m lineales hasta el VC, con una velocidad mínima de transmisión de 20 Mbps

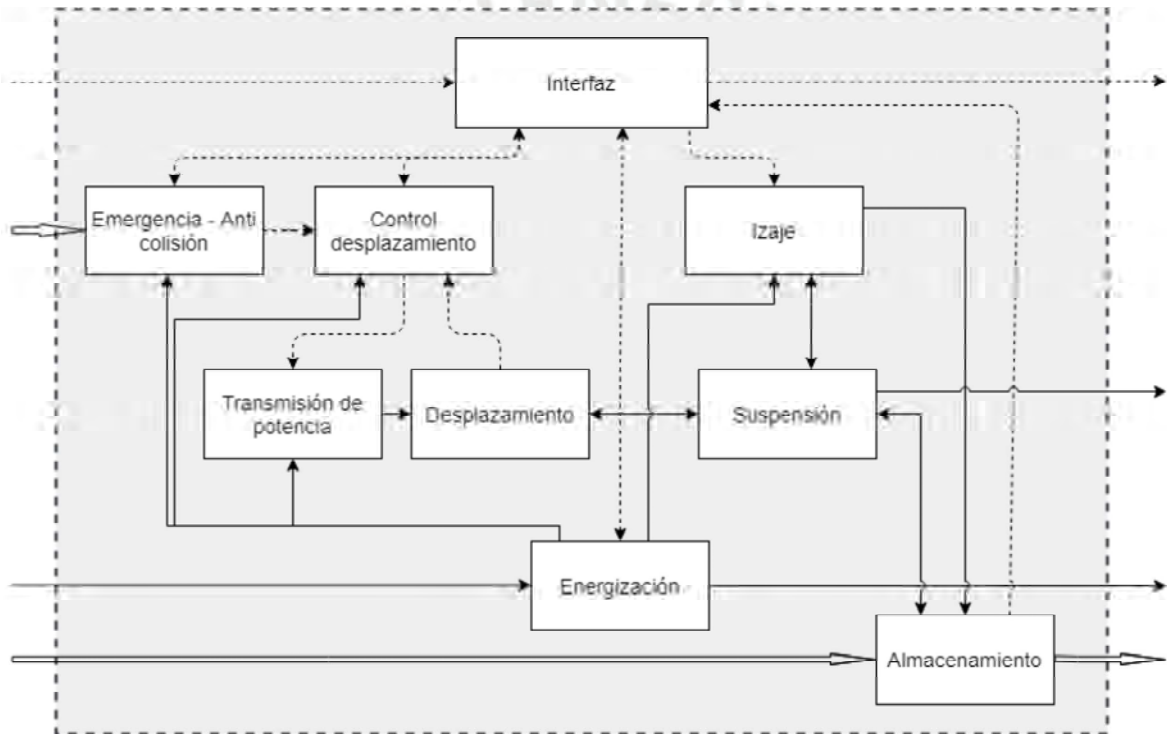


Anexo B: Caja Negra, Estructura principal de funciones y Estructura total de funciones

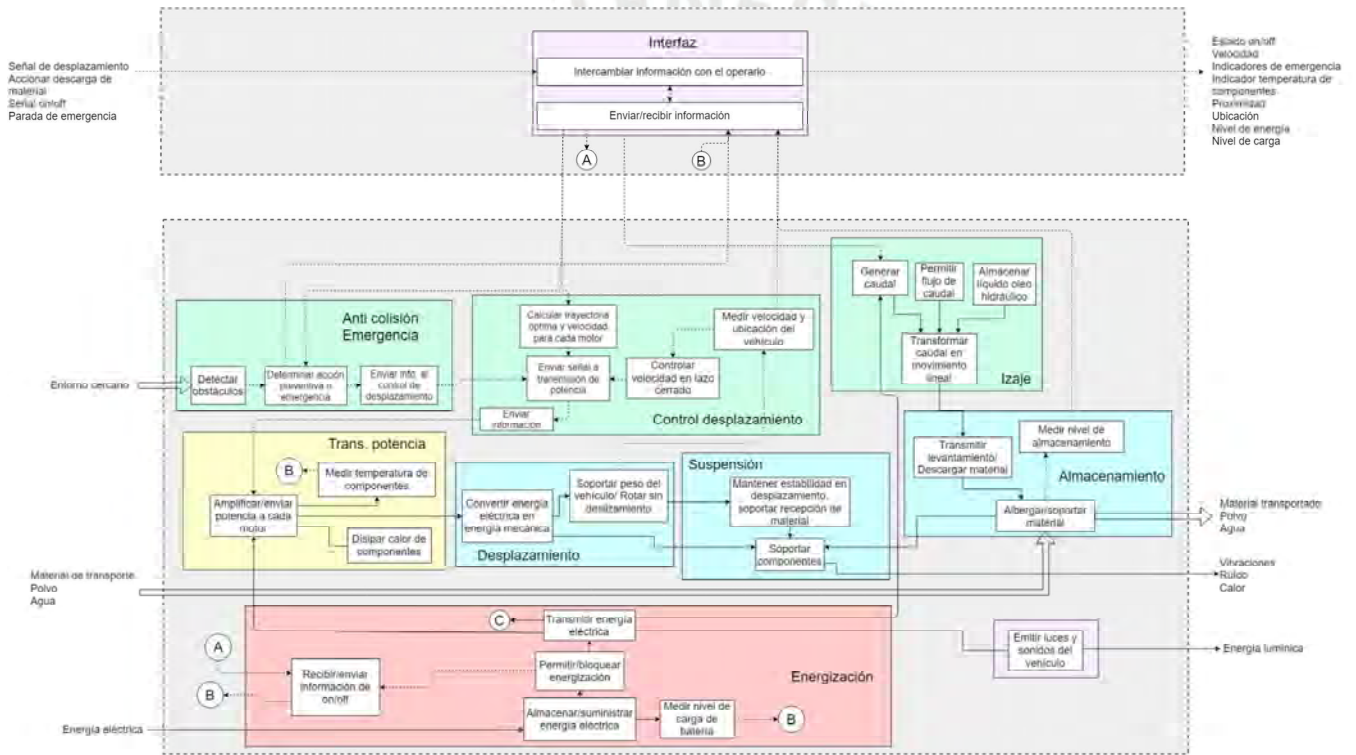
Caja Negra



Estructura principal de funciones



Estructura total de funciones



Anexo C: Matriz Morfológica

Interfaz

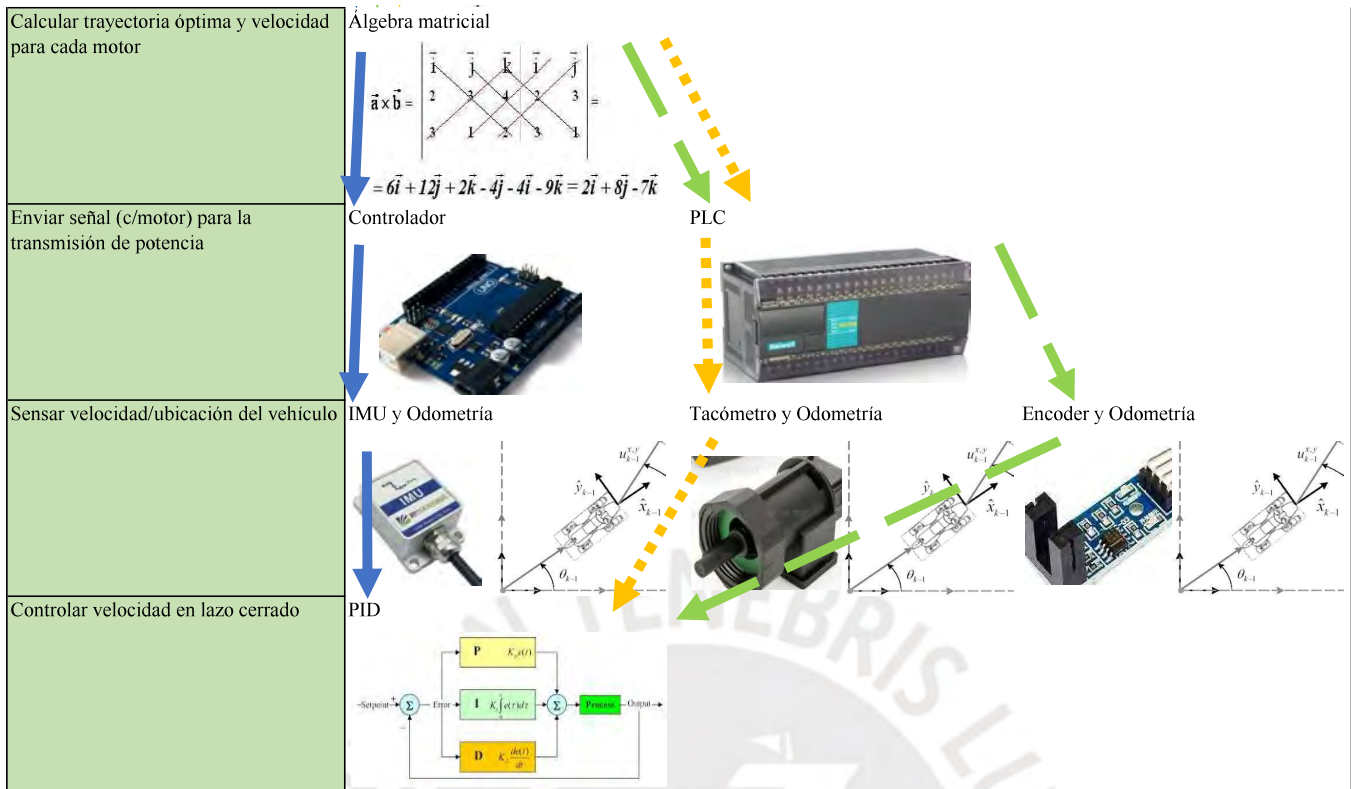
	Portador de funciones 1	Portador de funciones 2	Portador de funciones 3
Intercambiar información con operario	Tablet	Radio controller	Centro de mando
Enviar/recibir información	Conexión alámbrica	Inalámbrico wi-fi, bluetooth	Cable radiante
Transmitir señales a entorno	Luces y altavoz		

Sistema anti colisión - emergencia

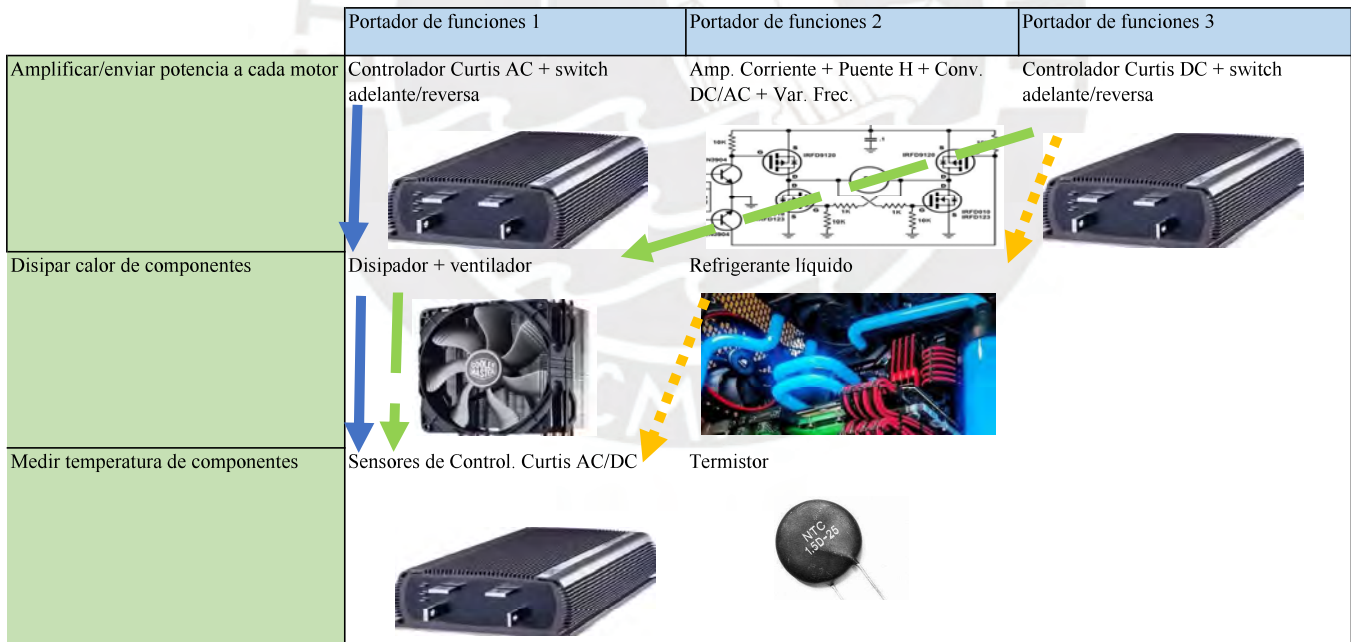
	Portador de funciones 1	Portador de funciones 2	Portador de funciones 3
Detectar obstáculos	Ultrasonido	Laser	Infrarrojo
Enviar información al control de desplazamiento	Conexión alámbrica		
Determinar acción preventiva o emergencia	Comparador digital	Comparador analógico	

Control de desplazamiento

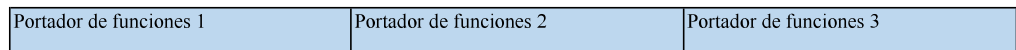
	Portador de funciones 1	Portador de funciones 2	Portador de funciones 3
Enviar información a transmisión de potencia	Conexión alámbrica		



Transmisión de potencia



Locomoción








Convertir energía eléctrica en energía mecánica	Motor DC	Motor síncrono de imanes permanentes	Motor de inducción
Soportar peso del vehículo / Rotar sin deslizamiento	Ruedas omni	Ruedas Mecanuum	

Izaje

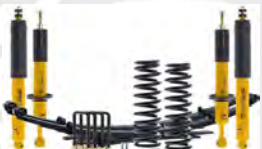


	Portador de funciones 1	Portador de funciones 2	Portador de funciones 3
Generar caudal	Bomba accionada		
Transformar caudal en movimiento lineal	Cilindro hidráulico telescópico-doble efecto	Cilindro hidráulico telescópico-simple efecto	
Almacenar líquido oleohidráulico	Tanque hidráulico		
Permitir flujo de caudal	Electro Válvula de 4/3	Electro Válvula de 3/2	

Almacenamiento


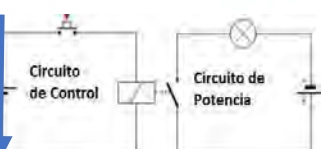

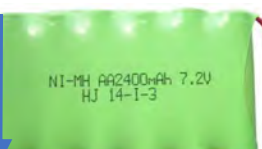

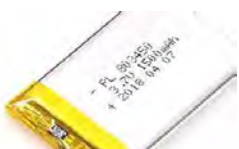
	Portador de funciones 1	Portador de funciones 2	Portador de funciones 3
Transmitir levantamiento / Descargar material	Mecanismo pivotante de 2 cilindros	Mecanismo pivotante de 1 cilindro	

Soportar/albergar material	Tolva de piso plano	Tolva con doble pendiente	
Medir nivel de almacenamiento	Sensor de fuerza	Sensor de ultrasonido	Sensor ultrasonido + sensor fuerza
			
			

Suspensión

	Portador de funciones 1	Portador de funciones 2	Portador de funciones 3
Soportar componentes	Chasis sección en caja		
Mantener estabilidad en desplazamiento, soportar recepción de material	Muelles + suspensión neum.	Cilindros hidráulicos	Suspensión hidro neumática
			

Energización

	Portador de funciones 1	Portador de funciones 2	Portador de funciones 3
Recibir/Enviar información on-off	Conexión alámbrica		
Permitir/bloquear energización	Circuito relé	Multiplexor	Contactor
Almacenar/suministrar energía eléctrica	Batería NiMH	Batería Li-Ion	Polimero de Litio
			
			

Transmitir energía eléctrica

Cable de cobre y bornes



Medir nivel de carga de baterías

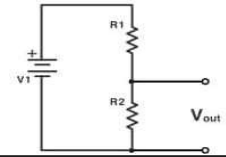
Sensores de Controlador Curtis



Sensor monitoreo baterías



Divisor de tensión



Anexo D: Elementos y planos de sistema hidráulico

Válvulas antirretorno

Z2S 10-1-3X/

Número de material : R900407394

Descripción		
Tipo de producto	Z2S	Válvula antirretorno con desbloqueo hidráulico (válvula de placa intermedia)
Tamaño nominal	10	Tamaño nominal TN 10, Qmáx = aprox. 120 L/min Pmáx = 315 bar
Bloqueo	-	Bloqueo sin fugas en canal A y B
Presión de apertura	1	1,5 bar
Serie	3X	Serie 30 hasta 39, medidas de instalación y conexiones invariables
Junta		Juntas NBR adecuadas para aceite mineral(HL,HLP) según DIN 51524, HETG (aceite de colza), fluidos hidráulicos rápidamente degradables en forma biológica según VDMA 24568

Válvulas estranguladorase

Z2FS 10A3-3X/SV

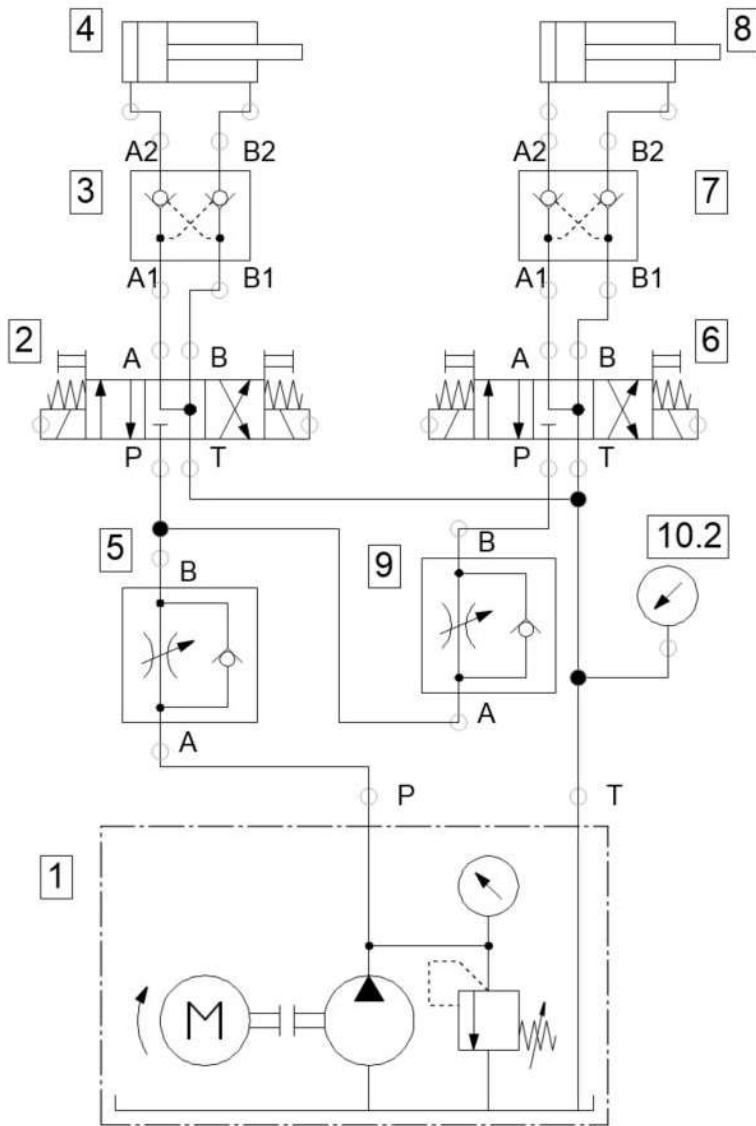
Número de material : R900524995

Descripción		
Tipo de producto	Z2FS	Válvula antirretorno estranguladora doble
Tamaño nominal	10	Tamaño nominal TN 10, Qmáx = aprox. 160 L/min Pmáx = 315 bar
Válvula estranguladora antirretorno	A	Válvula antirretorno estranguladora lado A
Elemento de ajuste	3	Botón giratorio con cerradura y escala
Serie	3X	Serie 30 hasta 39, medidas de instalación y conexiones invariables
Estrangulación	S	Estrangulación en alimentación sobre lado A
Junta	V	Juntas FKM adecuadas para aceite mineral(HL,HLP) según DIN 51524 HETG (aceite de colza), HEPG (políglicol), HEES (éster sintético), fluidos hidráulicos rápidamente degradables en forma biológica según VDMA 24568

Válvula direccional / de corredera
4WE 10 J5X/EG12DL/M

Descripción		
Número de conexiones de usuario	4	4 conexiones de usuario
Tipo de producto	WE	Válvulas direccionales de corredera, accionamiento directo con accionamiento por solenoide
Tamaño nominal	10	
Pistón	J	Embolo J
Posiciones de conmutación		3 posiciones de conmutación,
Serie	5X	Serie 50 hasta 59, medidas de instalación y conexiones invariables
Retorno por resorte		Con retorno por resorte
Solenoide / Válvula de pilotaje	E	Solenoide de alta potencia en baño de aceite con bobina extraíble
Tensión	G12	Tensión continua
Dispositivo de accionamiento auxiliar		sin dispositivo de actuador manual
Protegido contra corrosión (externamente)		ninguna (carcasa de la válvula imprimada)
Tipo de conexión	DL	Conexión central, entrada del cable por la tapa, con indicador luminoso
Modificación del tiempo de conmutación		Sin influencia sobre el tiempo de conmutación
Dosificador insertable		Sin dosificador insertable
Juego de corredera de mando		Estándar



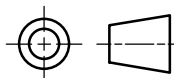


PARTS LIST

10	1	Manómetro			
9	1	Válvula estranguladora - Cilindro 2			
8	1	Cilindro hidráulico de doble efecto - Cilindro 2			
7	1	Válvula anti retorno pilotada - Cilindro 2			
6	1	Válvula direccional 4/3 - Cilindro 2			
5	1	Válvula estranguladora - Cilindro 1			
4	1	Cilindro hidráulico de doble efecto - Cilindro 1			
3	1	Válvula anti retorno pilotada - Cilindro 1			
2	1	Válvula direccional 4/3 - Cilindro 1			
1	1	Unidad de presión hidráulica			
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA - MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN



TFC2

CIRCUITO HIDRÁULICO
DE LEVANTE

ESCALA

—

20171475

VERA ALFARO, KIRCK

FECHA:
2022.06.23

LÁMINA:
PUCP A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

Anexo E: Ruedas Mecanum omnidireccionales de fabricante Yousheng: Cotización y plano





HUNAN YOUSHENG TECHNOLOGY CO.,Ltd.


102-116, Building 3, Kara Meili Villa, No.958, Youyi Road, Tianxin District, Changsha City, Hunan Province

MP: +86 13436587819 sally.deng@ys-agv.com www.ys-agv.com

To:

Attn: Mr.Kirck Vera

Email: kirck.vera@pucp.edu.pe

Item	Model	Diameter	Payload(KG)/4 wheels/Set	Material	Width(mm)	Net Weight/pcs	Unit Price/set(USD)	Photo	Production Lead Time
1	YS-MW609	24 inches/609mm	20000	CPU	310	143	13712.00		5-6 weeks

SUB-TOTAL(FOB Shanghai)

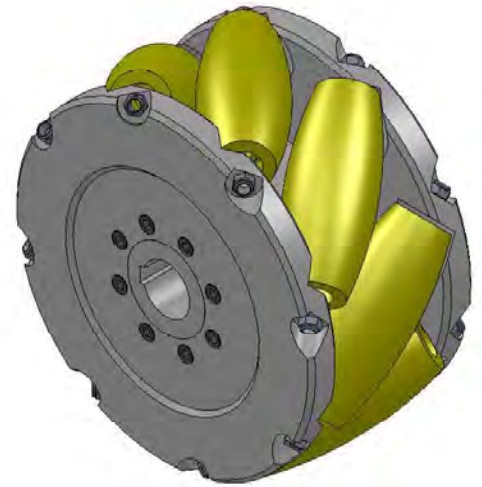
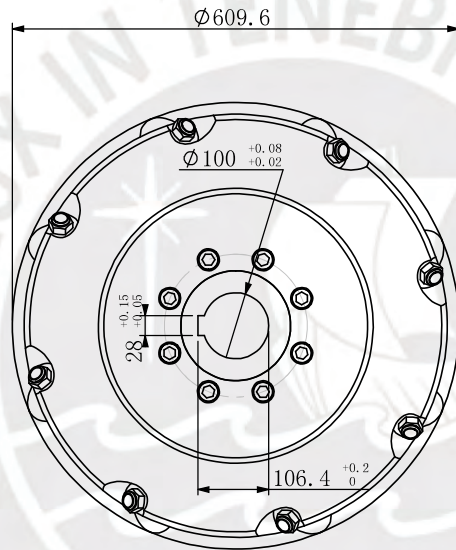
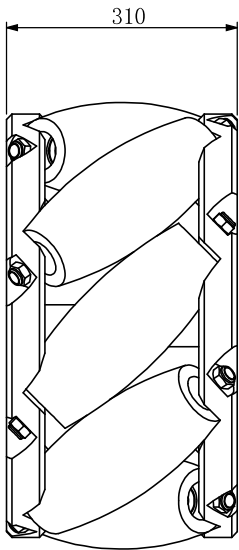
13712.00

Terms & Conditions

- 1) Payment term: 30% prepayment upon order confirm, 70% remaining payment before delivery
- 2) Delivery term: FOB Shanghai
- 3) 12 months warranty after delivery
- 4) Valid period for above pricing is 1 week

Issue Date: 2022-04-28

Issued by: Sally Deng



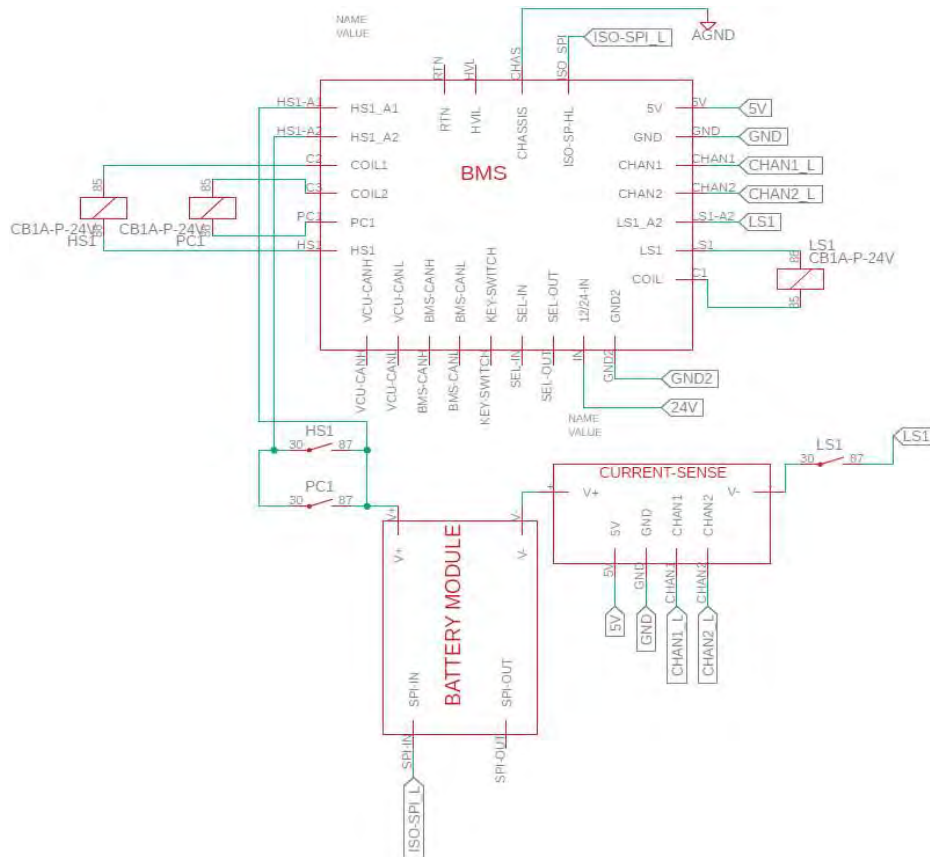
Payload: 20T/4 wheels

TITLE	YS-MW609-100
DIMENSIONS ARE IN MM	
www.ys-agv.com	

Anexo F: Sistema eléctrico y electrónico: Diagrama esquemático, diagrama de bloques y datasheet de componentes

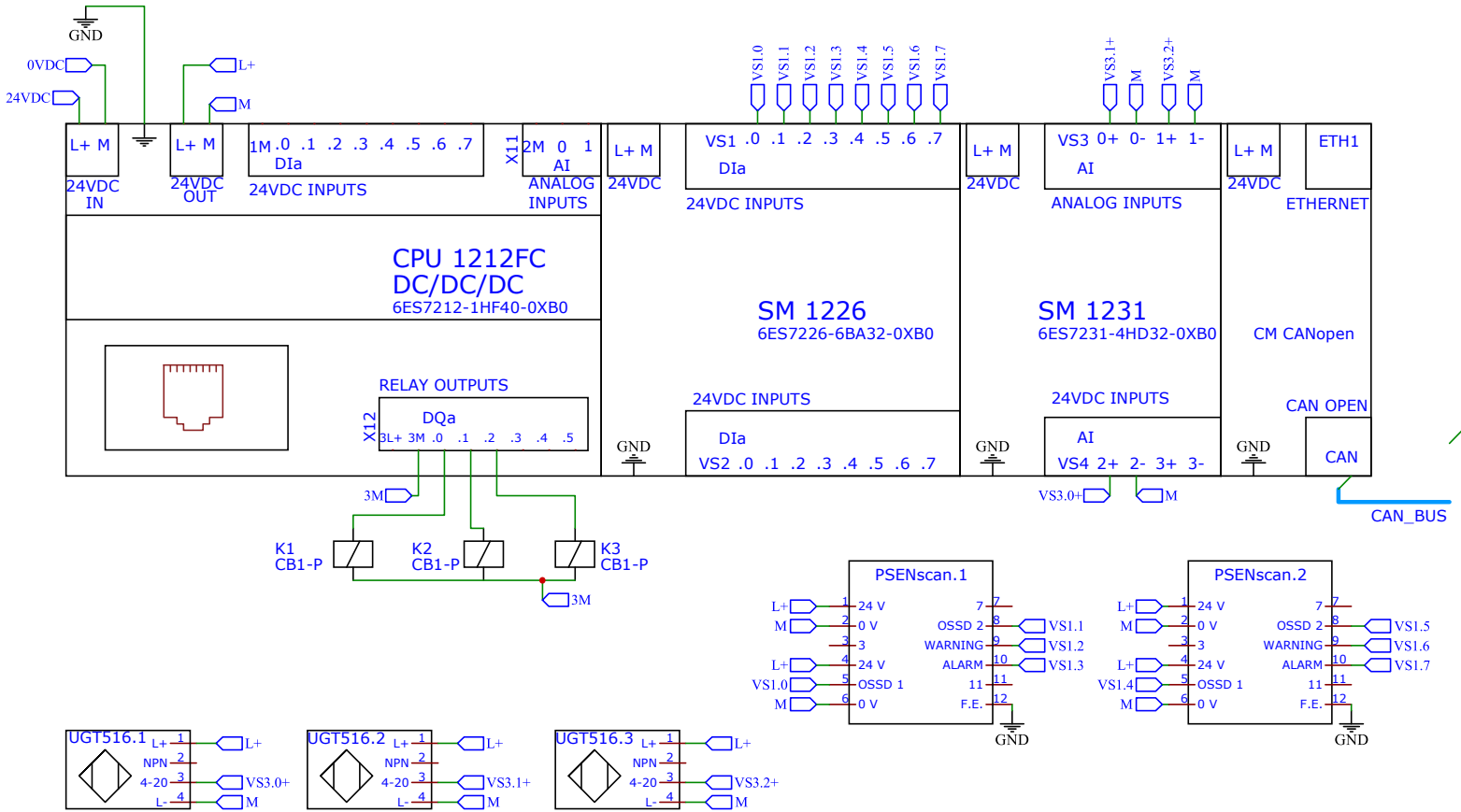


ALIMENTACION DE CONTROLADOR BMS



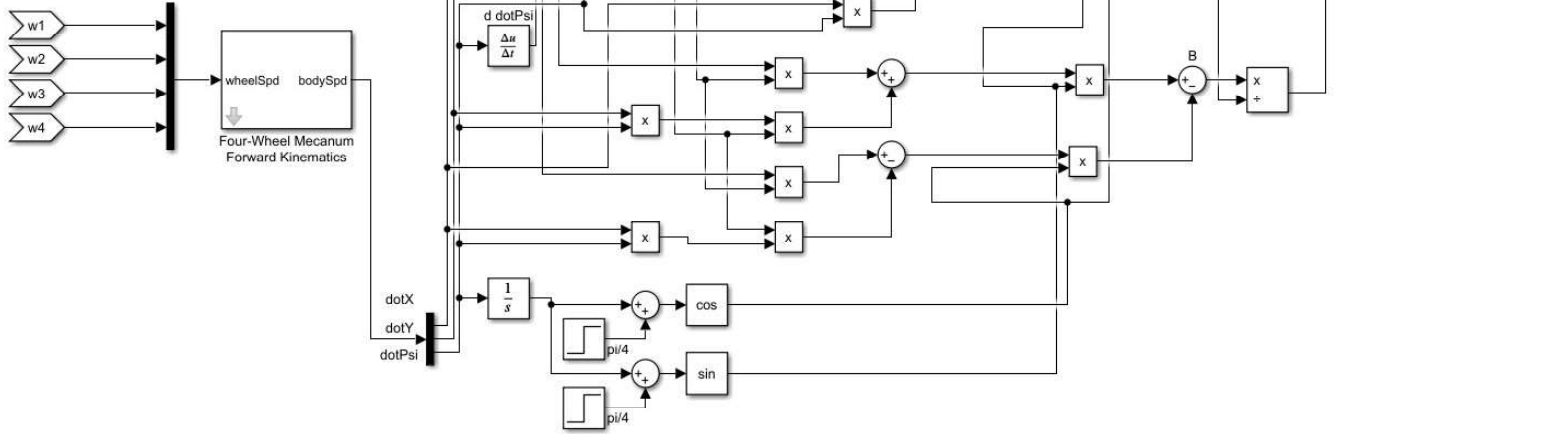
TITLE:		ALIMENTACION CONTROLADOR BMS	REV: 1.0
		Company:	Sheet: 1/1
		Date: 2024-11-15	Drawn By: KIRCK VERA ALFARO

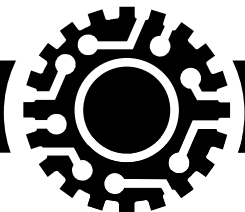
CONEXION PLC, SENSORES Y BOBINAS



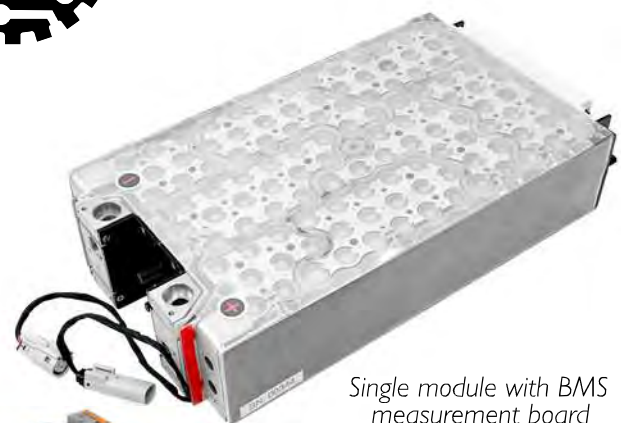
TITLE:		REV: 1.0
CONEXION PLC, SENSORES Y BOBINAS		Sheet: 1/1
Company:		Date: 2024-11-10
Date: 2024-11-10		Drawn By: KIRCK VERA ALFARO

Minimum Required Torques





BATTERY MINI-MODULE



Single module with BMS measurement board

Cascadia Motion's small-format prototyping battery modules are favored by compact or complex in-vehicle packaging situations. It's been designed with modularity in mind, allowing our customers to configure and build their own packs in a flexible way. While supporting an awesome punch of >25kW per module (15C rate), the product also gives respectable energy density for EV range. The integrated BMS is fully user-configurable by way of an included Android tablet app. The module is built with INR/NMC "power cells" that are 21700 cylindrical form-factor.



4s2p application example

Point Camera Here

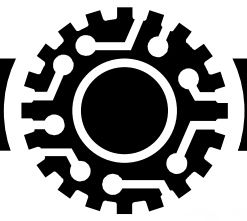


To View Manuals

Power Cell Module	SV	HV
Capacity (Total)	1.7 kWh	
Capacity (Total)	34Ah	17Ah
Voltage Range	35V to 59V	70V to 118V
Peak Discharge Current (10 sec)	600 A	300 A
Cont. Discharge Current (1 min)	360 A	180 A
Peak Discharge Power (10 sec)	>25kW @ high SOC	
Operation Temperature	-40 to 60 °C (discharge) 0 to 60 °C (charge)	
Dimensions (Overall)	215 mm x 381 mm x 83 mm	
Volume	6.7 L	
Weight	10.9 kg	

- ### FEATURES
- Designed with high-power, max-performance applications in mind
 - Plug-and-play intelligent battery management systems with proprietary algorithms and powerful configuration tool (GUI)
 - Active heating/cooling (with flexible water port arrangement)
 - Modular design means faster prototyping for customers designing their own packs
 - Convenient and flexible connection scheme for water plumbing and busbars
 - Plumbing, busbars, accessories and master BMS sold separately
 - Lightweight 'bricks' for easy handling and pack construction
 - Market-leading power density

Module Type	Module Qty	# in Series	# in Parallel	Energy (kWh)	Example Max Power (kW)	Max Voltage (V)	Nom Voltage (V)	Min Voltage (V)	Mass of Modules (kg)	Application Example
SV	1	1	1	1.7	25	59	51	35	10.6	48V hybrid or micromobility
HV	2	2	1	3.4	50	235	204	140	21.2	Tiny pack/HVH146
HV	3	3	1	5.1	75	352	306	210	31.8	Superlight ATV/Motorcycle
HV	4	4	1	6.8	100	470	408	280	42.4	Superlight ATV/Motorcycle
HV	7	7	1	11.9	175	823	715	490	74.2	ATV/Motorcycle/City car
SV	7	7	1	11.9	175	411	357	245	74.2	ATV/Motorcycle/City car
SV	8	8	1	13.6	200	470	408	280	84.8	ATV/Motorcycle/City car
HV	12	4	3	20.4	300	470	408	280	127.2	Short-range sports car
SV	14	7	2	23.8	350	411	357	245	148.4	Short-range sports car
HV	14	7	2	23.8	350	823	715	490	148.4	Short-range sports car
SV	14	14	1	23.8	350	823	715	490	148.4	Short-range sports car
SV	16	8	2	27.2	400	470	408	280	169.6	Short-range sports car
SV	21	7	3	35.7	525	411	357	245	222.6	Mid-range sports car
HV	21	7	3	35.7	525	823	715	490	222.6	Mid-range sports car
SV	24	8	3	40.8	600	470	408	280	254.4	Mid-range sports car
SV	28	7	4	47.6	700	411	357	245	296.8	Lightweight supercar
SV	28	14	2	47.6	700	823	715	490	296.8	Lightweight supercar
SV	32	8	4	54.4	800	470	408	280	339.2	Lightweight supercar
HV	35	7	5	59.5	875	823	715	490	371	Lightweight supercar
SV	42	7	6	71.4	1050	411	357	245	445.2	Hypercar
SV	42	14	3	71.4	1050	823	715	490	445.2	Hypercar
HV	49	7	7	83.3	1225	823	715	490	519.4	Long-range car/truck
SV	56	14	4	95.2	1400	823	715	490	593.6	Long-range car/truck



PM250 INVERTER



PM250DZR RACING VERSION AVAILABLE BY SPECIAL ORDER

- Provides 700Arms peak current in the smallest package for 800V-class applications
- This version trades useful operating life for increased peak power handling in transients. Suitable for motorsports and supercars/hypercars. Requires coolant temperature to be less than 60°C to take advantage of -R current increase.

FEATURES

- 6 (0-5V) Analog Inputs
- 2 selectable PT100/ PT1000 RTD Inputs
- 8 Digital Inputs STB/STG
- 4 High Side Driver Outputs
- 1 Resolver Interface
- 1 Sin-Cos Encoder Interface (-SP Option)
- 2 CAN 2.0A/B Ports 0.25-1MB adjustable rate and offset
- RS232 Programming Port
- Designed to ISO 16750 heavy vehicle climatic, mechanical, and environmental requirements
- ISO20653 high pressure wash rated IP6K9K / IP67
- Easy to use CAN-based control and feedback
- CAN Database (DBC) Available
- J1939 compatible CAN messages available
- Comprehensive fault logging and diagnostics
- PC-based setup and programming tools available for free
- -10 ORB coolant ports—can be adapted to any hose fitting, any angle
- Robust, fault-tolerant IGBT power stage
- No internal DC-link EMI Filter
- Command Safety Watchdog
- ISO6469 High Voltage Safety

The PM250 is a high-powered workhorse that delivers up to 700 Arms peak current in the smallest package for 800 V-class applications. This inverter sets the standard for supercar and motorsports electric propulsion.

PM250	DX	DZ	Units
DC Voltage – operating	50-400	100-820	VDC
DC Overvoltage Trip	420	840	VDC
Maximum DC Voltage – non-operating	500	900	VDC
Motor Current Continuous	450	450	Arms
Motor Current Peak *	750	600	Arms
Output Power Peak (elect) *	280	300	kW
DC Bus Capacitance	1500	645	µF
Size and Volume	523 x 391 x 75 / 15.4		mm / L
Weight	18		kg
Active Discharge via motor winding to <50V	< 1		sec
Vehicle System Power	9 .. 16		VDC
Inverter PWM Frequency **	12 (6..16 variable with upgrade)		kHz
Operating Temperature Range—coolant water	- 40 .. +80, (derate to zero 80..100)		°C
Coolant Flow Rate	24 .. 30 (6 GPM min)		LPM
Coolant Pressure Drop (60°C coolant / 24 LPM)	1.3 (132kPa / 18psi)		bar
Maximum Coolant Pressure (absolute)	2.75 (275kPa / 40psi)		bar
Operating Shock (ISO 16750-3, Test 4.2.2.2)	500 (50g), pending		m/s ²
Operating Vibration (ISO 16750-3, 4.1.2.4—IV)	27.8 (3grms), pending		m/s ²
Cable Gland Size	M32	M32	
Conductor Size min .. Max recommended	#2/35..#000/75		AWG/ mm ²
Cable OD min .. max recommended ***	11 .. 21		mm

Ratings subject to change without notice—consult factory

* Peak current is defined as a maximum of 30 seconds.

** Gen5 control upgrade is available on some applications which adds a variable PWM rate function. This allows lowering of the PWM rate for up to 33% more peak current and raising of the PWM rate at very high motor speeds for such applications needing it.

*** Depending on the cable type, an additional sleeve may be needed to seal the cable.

Point Camera Here

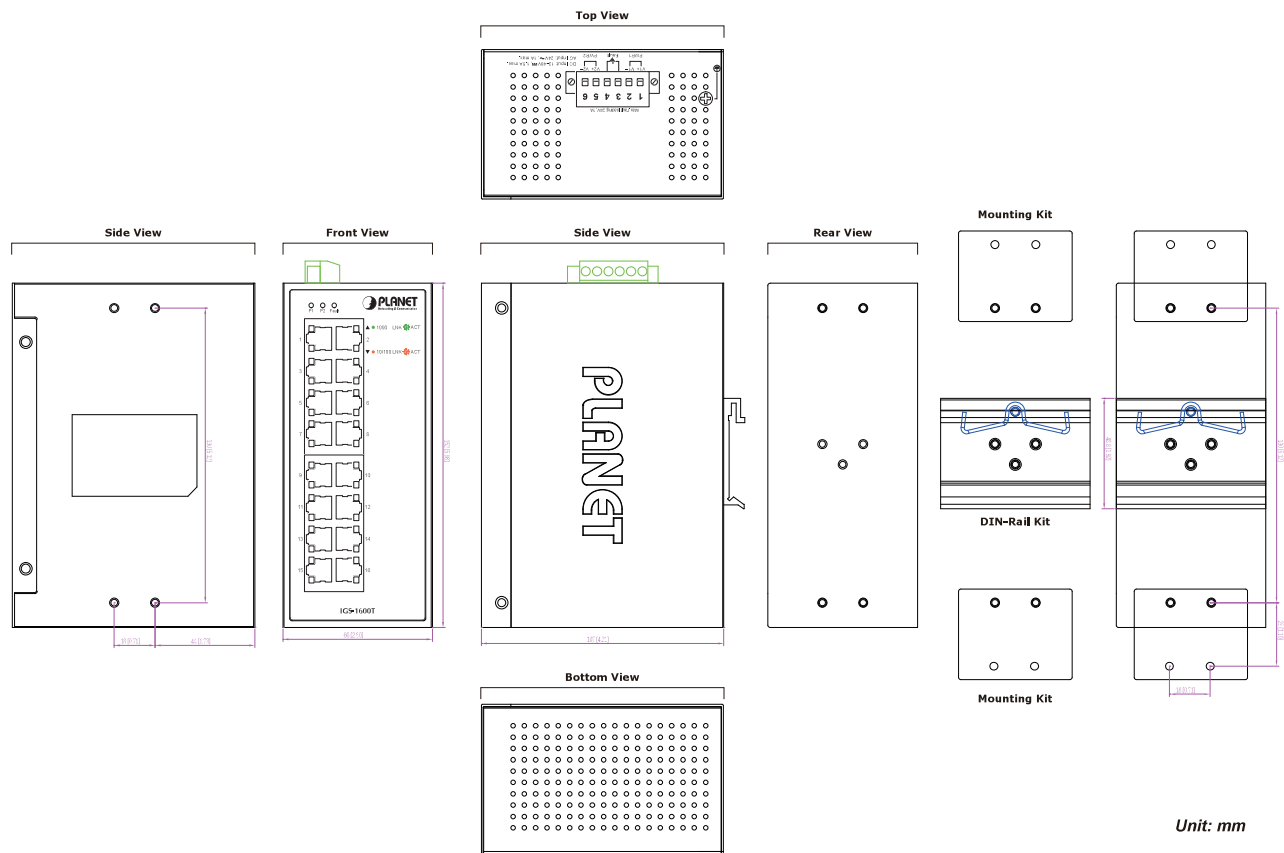


To View Manuals

CASCADIA MOTION

cascadiamotion.com +1-503-344-5085

Mechanical Drawing



Specifications

Product	IGS-1600T
Hardware Specifications	
Gigabit Ethernet Switch Copper Ports	10/100/1000Mbps
Switch Architecture	Store-and-Forward
Switch Fabric	32Gbps (non-blocking)
Throughput (packet per second)	23,81Mpps@ 64 bytes
Address Table	8K entries, automatic source address learning and aging
Shared Data Buffer	4.1Mbits
Flow Control	IEEE 802.3x pause frame for full-duplex Back pressure for half-duplex
Jumbo Frame	10Kbytes
ESD Protection	6KV DC
Enclosure	IP30 metal case
Installation	DIN-rail kit and wall-mount kit
Connector	Removable 6-pin terminal block for power input - Pin 1/2 for Power 1 - Pin 3/4 for fault alarm - Pin 5/6 for Power 2
Alarm	One relay output for power failure. Alarm relay current carry ability: 1A @ 24V DC
Dimensions (W x D x H)	66 x 107 x 152 mm
Weight	743g
Power Requirements	Dual 12~48V DC 24V AC

Power Consumption	DC input: Max. 3.4 watts/11.6BTU (System on) Max. 8.7 watts/29.7BTU (Full loading)
	AC input: Max. 5 watts/17BTU (System on) Max. 13.99 watts/47.8BTU (Full loading)
Standards Conformance	
Regulatory Compliance	FCC Part 15 Class A, CE
Stability Testing	IEC60068-2-32 (free fall) IEC60068-2-27 (shock) IEC60068-2-6 (vibration)
Regulatory Compliance	IEEE 802.3 10BASE-T IEEE 802.3u 100BASE-TX IEEE 802.3ab 1000BASE-T IEEE 802.3x flow control and back pressure IEEE 802.1p Class of Service IEEE 802.3az Energy Efficient Ethernet (EEE)
Environment	
Operating Temperature	-40 ~ 75 degrees C
Storage Temperature	-40 ~ 85 degrees C
Humidity	5 ~ 95% (non-condensing)

Ordering Information

IGS-1600T	Industrial 16-Port 10/100/1000T Ethernet Switch (-40~75 degrees C)
-----------	--

Related Products

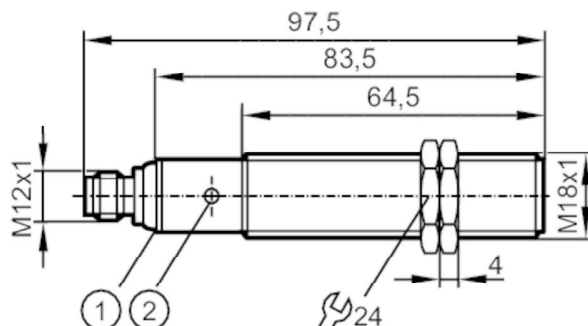
IGS-1820TF	Industrial 16-Port 10/100/1000T + 2-Port 1000X SFP Ethernet Switch (-40~75 degrees C)
IGS-4215-16T2S	Industrial L2/L4 16-Port 10/100/1000T + 2-Port 100/1000X SFP Managed Switch (-40~75 degrees C)

UGT516



Sensor ultrasónico

UGA01600F1KG/US



- 1 indicadores LED
2 botón de aprendizaje



Características del producto

Alimentación	NPN
Función de salida	normalmente abierto / normalmente cerrado; (parametrizable)
Alcance [mm]	150...1600; (Target: 200 x 200 mm)
Carcasa	Tipo con rosca
Dimensiones [mm]	M18 x 1 / L = 97,5

Datos eléctricos

Tensión de alimentación [V]	10...30 DC; ("supply class 2" según cULus)
Consumo de corriente [mA]	55
Clase de protección	III
Protección contra inversiones de polaridad	sí
Retardo a la disponibilidad [s]	< 0,3
Frecuencia del transductor [kHz]	230

Entradas/salidas

Número de entradas y salidas	Número de salidas digitales: 1; Número de salidas analógicas: 1
------------------------------	---

Salidas

Número total de salidas	2
Señal de salida	señal de conmutación; señal analógica
Alimentación	NPN
Número de salidas digitales	1
Función de salida	normalmente abierto / normalmente cerrado; (parametrizable)
Caída de tensión máx. de la salida de conmutación DC [V]	2,2
Corriente máxima permanente de la salida de conmutación DC [mA]	100
Frecuencia de conmutación DC [Hz]	3
Número de salidas analógicas	1
Salida analógica de corriente [mA]	4...20

UGT516



Sensor ultrasónico

UGA01600F1KG/US

Carga máx.	[Ω]	500
Protección contra cortocircuitos		sí
Resistente a sobrecargas		sí
Resolución de la salida analógica		< 3 mm
Rango de detección		
Alcance	[mm]	150...1600; (Target: 200 x 200 mm)
Zona ciega	[mm]	150
Ángulo de apertura cilíndrico	[°]	15; (±2)
Variación máx. del ángulo de 90° entre sensor/objeto	[°]	± 4
Precisión / variaciones		
Compensación de temperatura		sí
Histéresis	[%]	< 2
Deriva del punto de conmutación	[%]	-2...2
Error de linealidad de la salida analógica	[%]	<2
Repetibilidad		1 %
Observaciones sobre precisión / variación		Los valores indicados se alcanzan tras un tiempo de calentamiento de como mínimo 20 minutos.
Tiempos de respuesta		
Tiempo de respuesta	[ms]	< 300; (salida analógica)
Condiciones ambientales		
Temperatura ambiente	[°C]	-20...70
Temperatura de almacenamiento	[°C]	-30...80
Grado de protección		IP 67
Homologaciones / pruebas		
CEM	EN 61000-4-2 ESD	4 kV CD / 8 kV AD
	EN 61000-4-3 radiado HF	3 V/m
	EN 61000-4-4 Burst	2 kV
	EN 61000-4-6 HF conducido	3 V
	EN 55011	clase A
Resistencia a vibraciones	EN 60068-2-6 Fc	(10-55) Hz 1 mm de amplitud, periodo de oscilación 5 min., 30 min. por cada eje con resonancia o 55 Hz
Resistencia a choques	EN 60068-2-27 Ea	30 g 11 ms semisinusoidal; respectivamente 3 choques en cada sentido de los 3 ejes de coordenadas
MTTF	[años]	125
Homologación UL	Ta	-20...70 °C
	alimentación de tensión	Class 2
	Número de registro UL	E174191
Datos mecánicos		
Peso	[g]	100,5

UGT516



Sensor ultrasónico

UGA01600F1KG/US

Carcasa	Tipo con rosca
Dimensiones [mm]	M18 x 1 / L = 97,5
Nombre de la rosca	M18 x 1
Materiales	inox (1.4404 / 316L); PA; Vitrocerámica con polvo epoxídico
Par de apriete [Nm]	50

Indicaciones / elementos de mando

Indicación	Estado de conmutación	2 x LED, amarillo
	eco	1 x LED, verde
Función Teach		sí

Accesorios

Componentes incluidos	tuercas de fijación: 2, Acero inoxidable
-----------------------	--

Notas

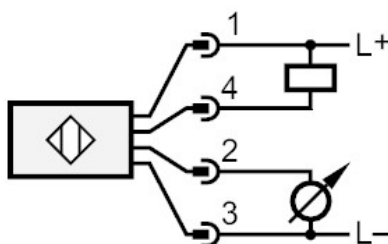
Notas	tensión de alimentación "supply class 2" según cULus
Cantidad por pack	1 unid.

Conexión eléctrica

Conector: 1 x M12; codificación: A



Conexión



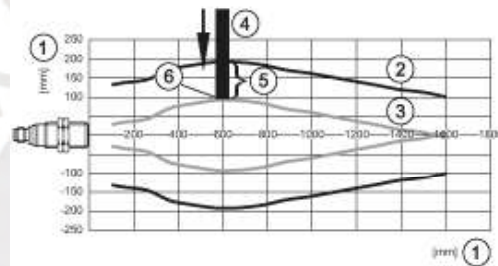
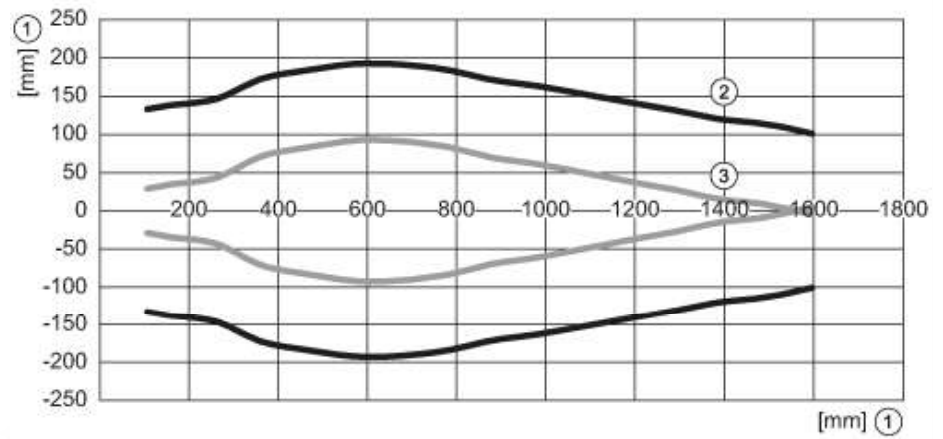
UGT516



Sensor ultrasónico

UGA01600F1KG/US

Diagramas y curvas



- 1: Distancia
- 2: Rango de detección
- 3: curva de aproximación
- 4: Target 200 x 200 mm
- 5: 50 % del target en la zona de detección
- 6: punto de conmutación



Modelo Light, 30 mm/40 mm/50 mm/70 mm/150 mm capacidad de detección, Muting, Override, EDM, aplicación de re arranque según EN ISO 61496-3, aplicaciones verticales, marcas de referencia, salidas de datos de medición (UDP), sustitución rápida mediante bloque de memoria extraíble; 5,5 m zona de seguridad; como máx. 2 zonas de seguridad activas al mismo tiempo, como máx. 2 zonas de advertencia activas al mismo tiempo, set con 10 zonas de inseguridad configurables como máx.

Datos técnicos

Informacion General	
Homologación:	CE, UKCA, cULus Listed, TÜV, EAC
Tipo de EPES:	3
Product type:	Light
Principio de sensor:	óptico
Resoluciones seleccionables:	50 mm, 40 mm, 30 mm, 150 mm, 70 mm
Alc. zona adv. varias resol.:	40 m/resolución 150 mm, 22 m/resolución 40 mm, 19 m/resolución 30 mm, 23 m/resolución 50 mm, 40 m/resolución 70 mm
Alc. zona seg. varias resol.:	3 m/resolución 40 mm, 5,5 m/resolución 150 mm, 2,50 m/resolución 30 mm, 4 m/resolución 50 mm, 5,5 m/resolución 70 mm
N.º supervisión simult. zonas:	2
N.º configuraciones por zonas:	10
Datos técnicos	
Datos eléctricos	
Tensión alimentación (V):	24 - 24 V
Tipo tensión de aliment. U1:	DC
Consumo de energía DC:	8 W
Datos ópticos	
Interv. long. de onda util.:	905 nm
Zona de escaneado:	275°
Ángulo de apert. máx. vertical:	0,12°

Resolución angular:	0,1°
Entradas	
Nivel de señal en entrada en 0:	< 5 V
Tensión continua en entrada:	24 V
Salidas de semiconductores	
Número de salidas OSSD:	4
Corr. "0" sal. semi. PSEnscan:	< 700 µA
Interfaz Ethernet	
Tipo con. interface ETHERNET:	M12x1, 4-pin, D-code
Veloc. transmisión Ethernet:	100 Mbits/s
Interfaz CANopen	
Número de interfaces Ethernet:	1
Datos medioambientales	
Temperatura ambiente:	-10 - 50 °C
Dato sobre resistencia humedad:	máx. 95 %
¿Condensación permitida?:	no permitido
Altura func. máx. s. n. m.:	2000 m
Vibraciones según norma ...:	EN 60068-2-6
Acel. choque según norma 1:	10 g
Times	
Tiempo de reacción:	62 - 62 ms
Tiempo de rotación:	30 ms
Datos mecanicos	
Tipo de conexión:	M12, 8 pol. macho, M12, 12 pol. macho
Material de la carcasa:	Aluminio
Material carcasa superior:	PC
Material pant. frontal:	PMMA
Dimensión de altura:	152 mm
Dimensión Ancho:	102 mm

Dimensión Profundidad:	112.5 mm
Peso neto:	1530 g
Peso bruto:	2140 g
Medio ambiente	
Directiva RoHS:	2011/65/UE, 2015/863/UE
Conformidad RoHS:	sí
Excepciones RoHS:	no
Cumplimiento de REACH:	No contiene sustancias SVHC
WEEE classification (08/2018):	5 devices (feed size < 50cm)
Datos comerciales	
Harmonized System Code:	90314990
UNSPSC 25:	39121528
Código EAN:	4046548095272
ECLASS Version:	ECLASS-13
ECLASS Reference Feature:	27272791
ETIM Version:	ETIM-9.0
ETIM Reference Group:	EG000026
ETIM Reference Feature:	EC002550
Volumen:	13,330 dm3

Accesorios Obligatorios



540326

PSEN cable axial M12 8-pole 30m



540320

PSEN cable axial M12 8-pole 5m

HVH250-115 Electric Motor



Product Sheet

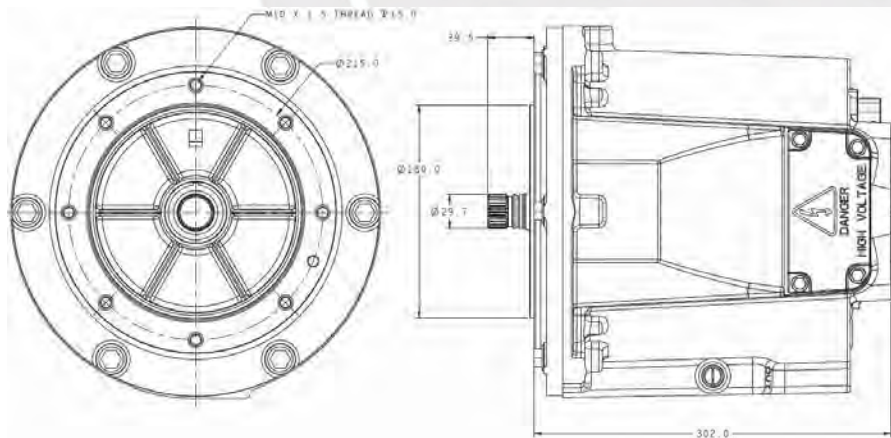
The HVH250 Series motors come in various stack length, cooling and winding configurations.

They are available as fully housed motors or as rotor/stator assemblies. The HVH250 is a powerful, durable and rugged electric motor/generator for use in on- and off-highway vehicles, power generation and other special high power demand applications.

With billions of kilometers of proven reliability, the HVH motors are supported by the largest independent electric motor test and R&D facility in North America.

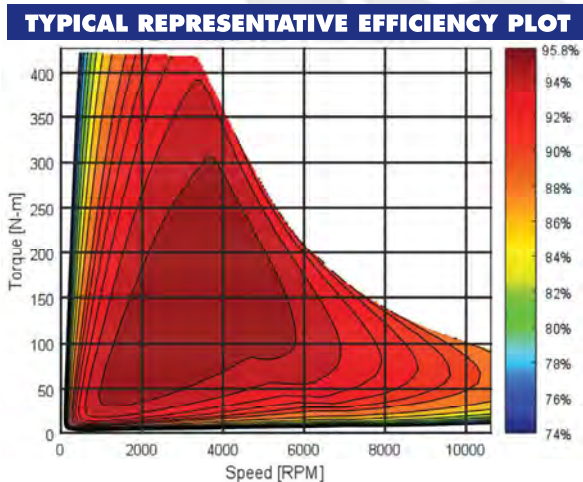
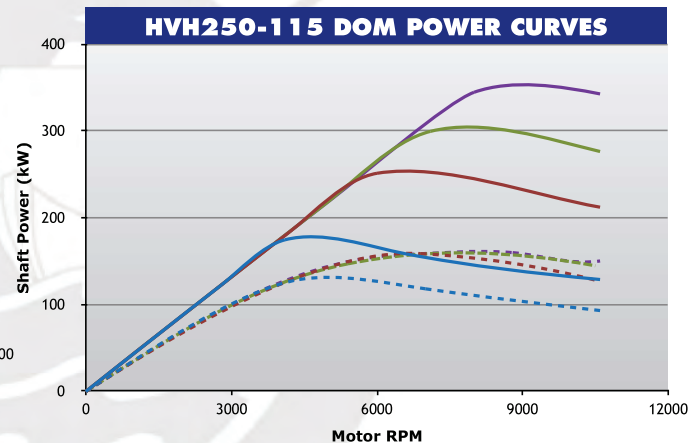
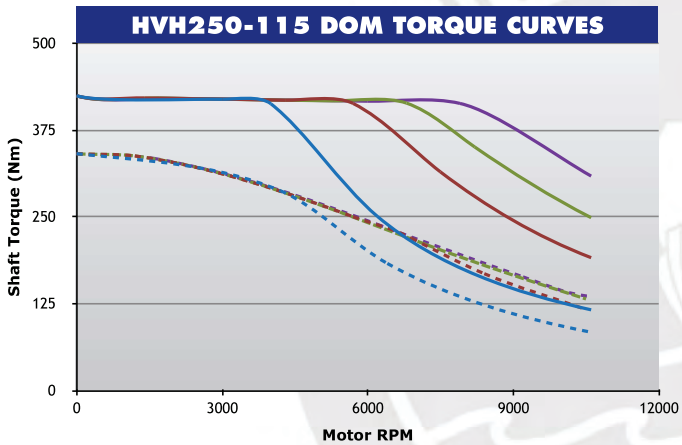
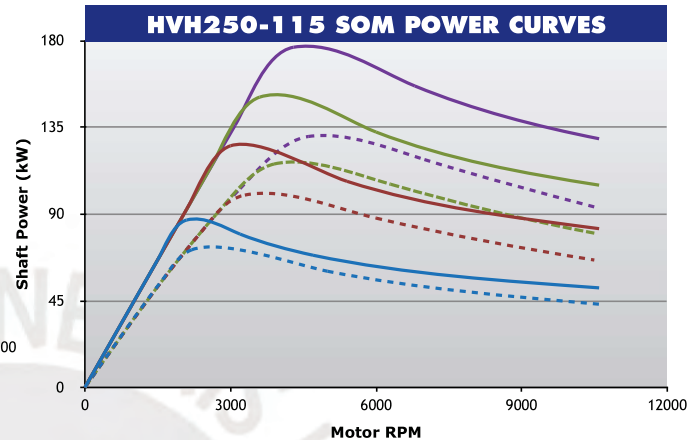
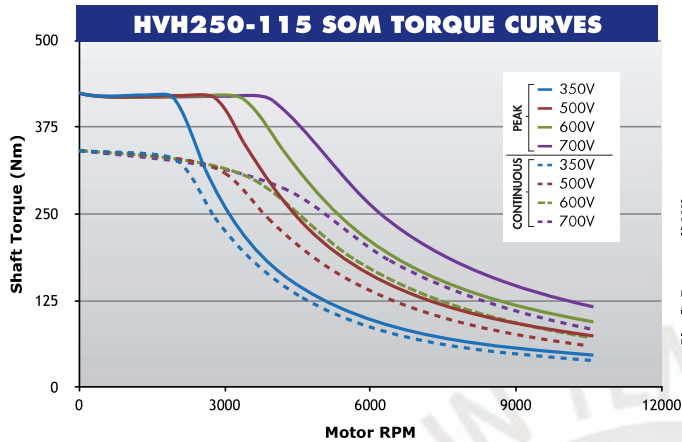
Features & Benefits

- Peak efficiencies > 95%
- Designed with 120 years of automotive experience for ultimate reliability
- World class power density
- More than 10 years of continuous production and more than 100,000 motors in service
- Global sales and tech support
- Production capacity of up to 80,000 HVH motors per year



HVH250-115 Electric Motor

Product Details



OPERATING CONDITIONS

Typical Coolant Inlet Temperature	up to 90 C
Typical Coolant Flow Rate	5 to 30 LPM
DC Bus Voltage	up to 700 V
Peak Current	300*/600** Arms
Rated Peak Operating Time	60 sec
Standard Cooling Medium	Dexron VI

MOTOR MASS DATA

Motor Assembly	57.2 kg
Motor Rotational Inertia	0.086 kg-m ²

*Series wound stator **Dual path stator

Note: Graphs above are based on actual test data. The torque and power ratings are based on typical operating conditions as noted on the performance graphs. There are several variables that may change the motor performance, including coolant flow rate, operating temperature, inverter settings and parameters, etc. For actual performance, the motor must be evaluated in its final system and application. All specifications are subject to change.

Más seguridad, más visibilidad, más inteligencia

Luz de Advertencia LED para Montacargas

Las grúas horquilla suelen operar en zonas de mucho tráfico, donde las sirenas y alarmas de advertencia audibles tienen poco o ningún impacto en los alrededores concurridos.

Para combatir este problema, RCT ha diseñado la línea de Luces LED AusProTec™ para hacer un impacto visual. Estas luces de última generación, proyectan una línea de exclusión en los pisos de los almacenes para alertar visualmente al personal de que hay un montacargas en las cercanías.

Las Luces de línea LED AusProTec ofrecen indicadores de alta intensidad para una visibilidad de largo alcance, creando un impacto máximo en cualquier aplicación de interior.



Especificaciones

Voltaje	10 - 60 Volts DC	
Poder	5 x 3 Leds Cree Watts	
Dimensiones	115mm x 85.87mm x 74mm	
Material	Carcasa de aluminio fundido a presión	
Reflector y lentes	Policarbonato	
Abrazadera de montaje	Acero inoxidable	
Terminaciones	500mm flying lead (cable que debe conectarse a un ROV en vuelo)	
Calificación de Impermeabilidad	IP67	
Horas de vida útil	30,000+	
Patrón de Haz	Linea	
Consumo de corriente - 12v	APN 13442: < 1.1A	APN 13444: < 1.2A
Consumo de corriente - 24v	APN 13442: < 520mA	APN 13444: < 560mA
Consumo de corriente - 48v	APN 13442: < 270mA	APN 13444: < 300mA

Piezas

-  APN: 13442 LED LINE LIGHT 9 - 60VDC BLUE
-  APN: 13444 LED LINE LIGHT 9 - 60VDC RED

Referencia: SBAP0906201



RCT
Head Office
Unit 1-5/511 Abernethy Rd
Kewdale WA 6105, Australia
sales@rct-global.com

Australia +61 8 9353 6577
Africa +27 83 292 4246
Canada +1 705 590 4001
Central Asia +7 910 411 1174
USA +1 801 938 9214
South America +56 3 5229 9409

Copyright © 2023 Remote Control Technologies Pty Ltd. Images for illustration purposes only. Discover more @ rct-global.com

Anexo G: Diagrama de flujo para operario, diagrama de flujo general, esquema eléctrico de control de sistema hidráulico y programa para PLC

Diagrama de flujo para operario

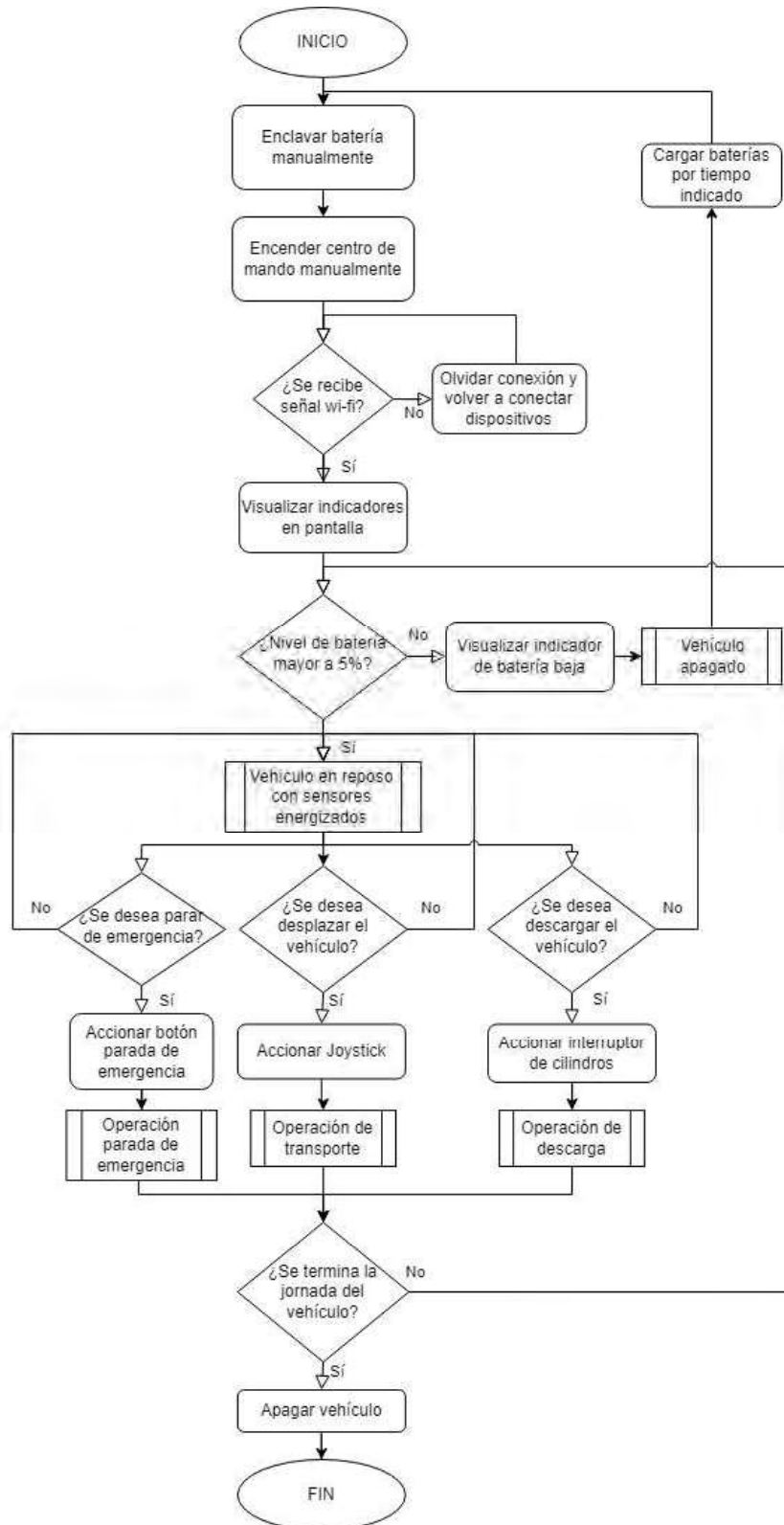
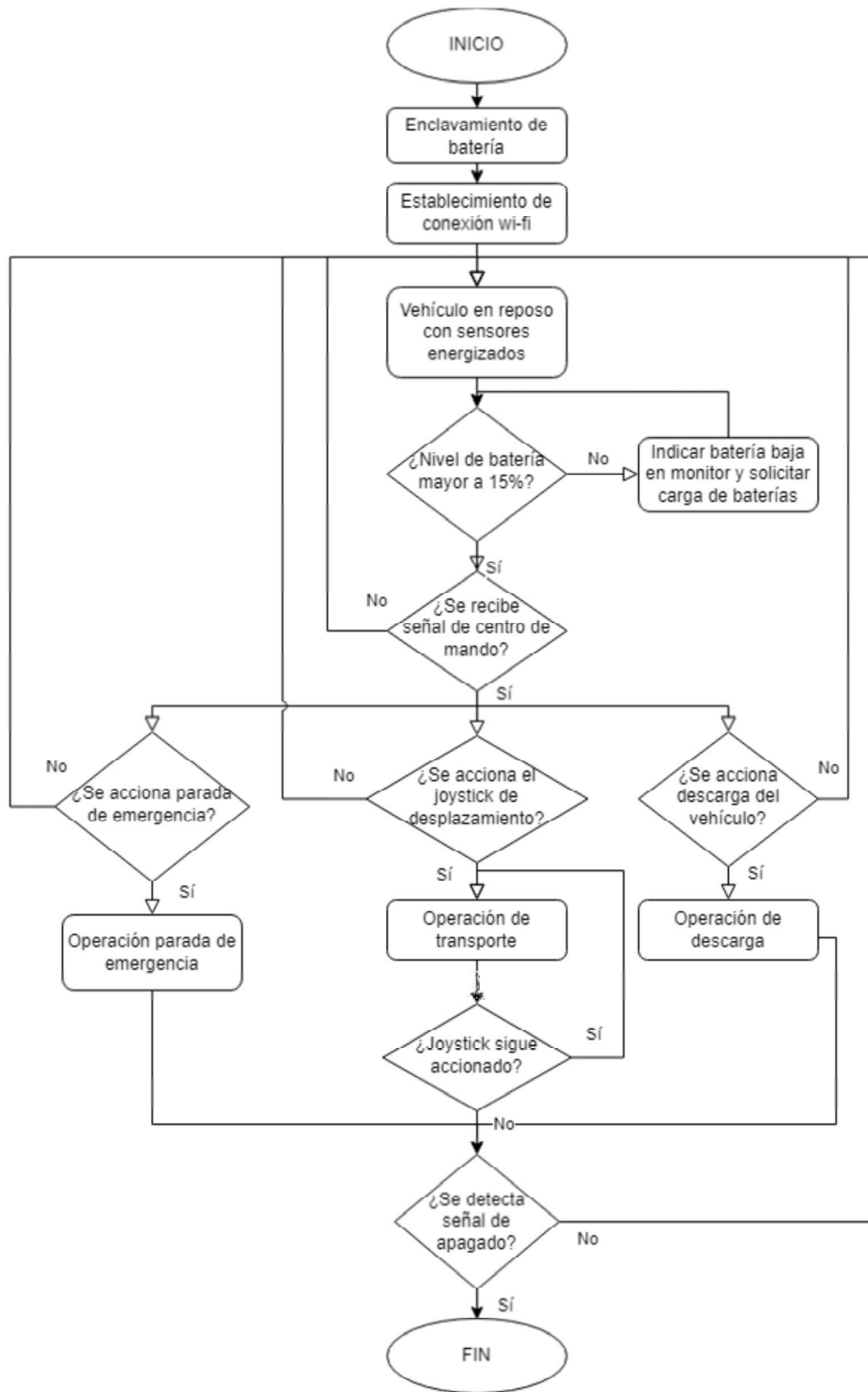
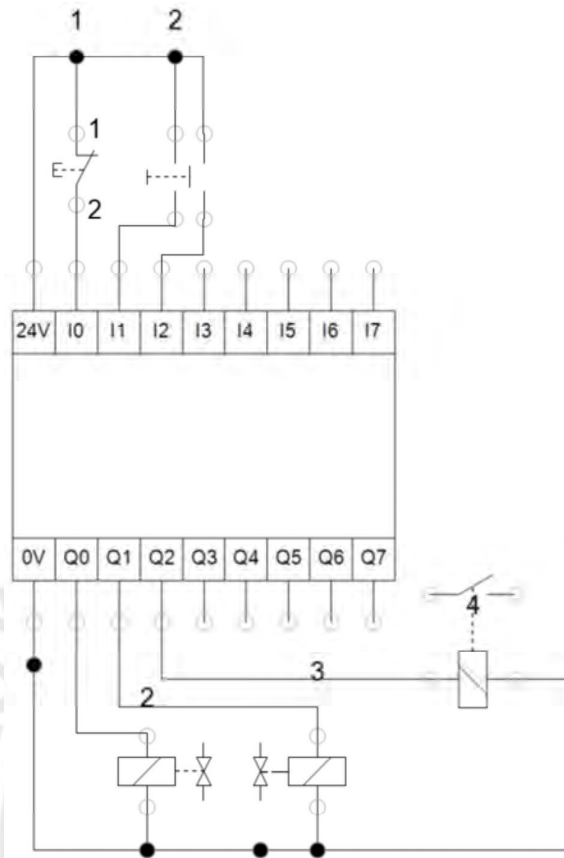


Diagrama de flujo general



Esquema eléctrico de control de sistema hidráulico



Programa para sistema hidráulico en PLC

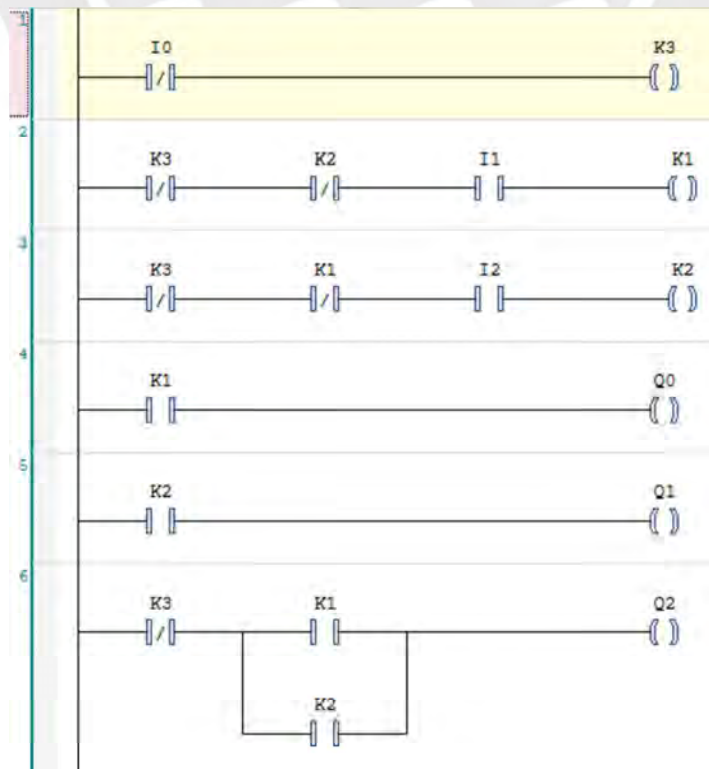
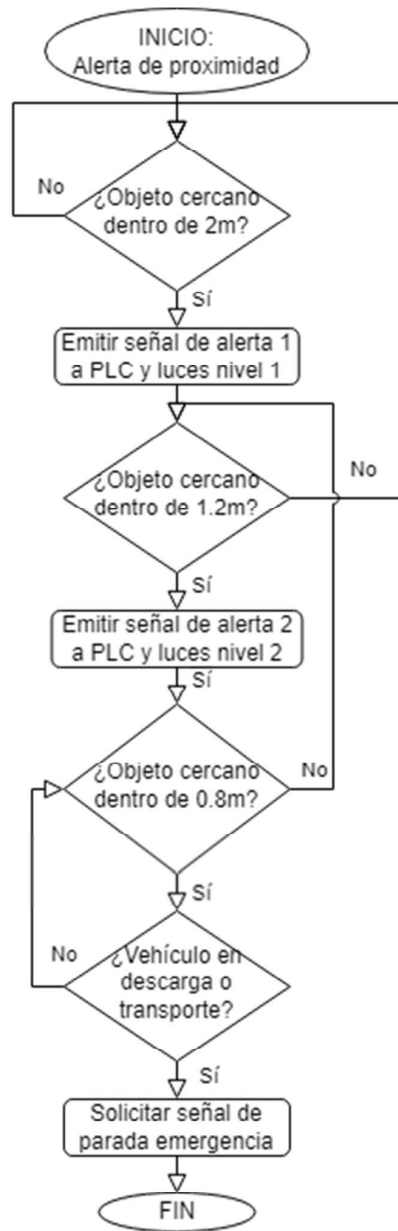


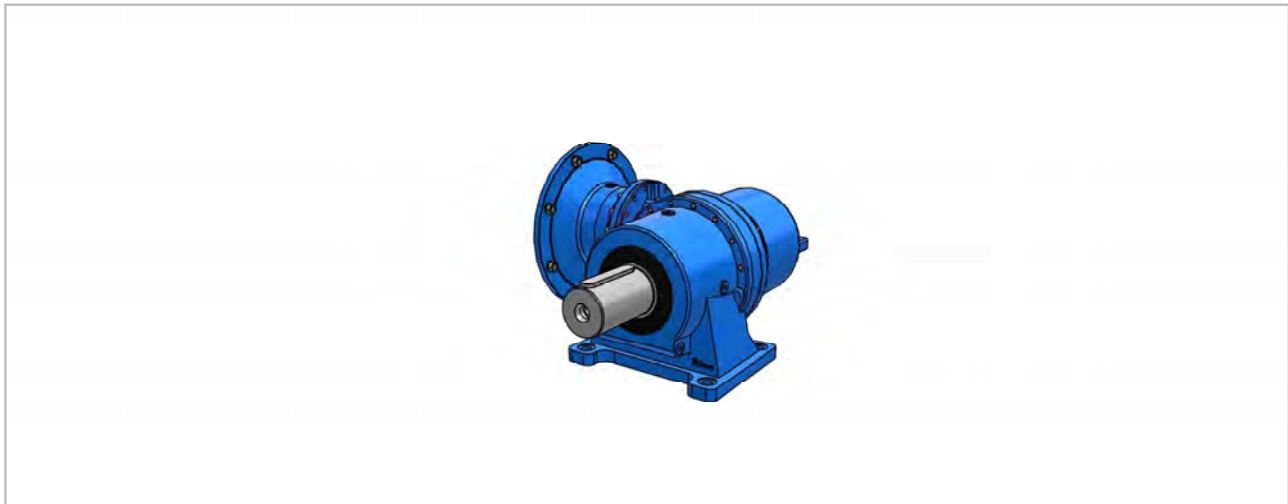
Diagrama de flujo para programa de alerta de proximidad



Anexo H: Planos de reductor y datasheet, planos de ensamble de componentes y sistema mecánico



Designation: R 2EB 018A 10.4Y C100M1 P10d I60x450 B3



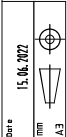
Machine	R
Train or gears	2EB
Size	018
Stage composition	A
I ratio	10.4
Output	C100M1 P10d
Input type	I-IEC electric motor adapter
Brake	-
Input size	60x450
Mounting position	B3
Expansion tank	-
Accessories	-
Pinion Gear Accessory Zp	-
Torque Arm Accessory Mounting Position	-
Foot bracket	-
Backstop/water cooling	No
Motor type	No motor
Motor size	-
Terminal box position	-
Power	-
Poles	-
Frequenza	-
Directive	-
Efficiency	-
Second shaft end	-
Cooling	-



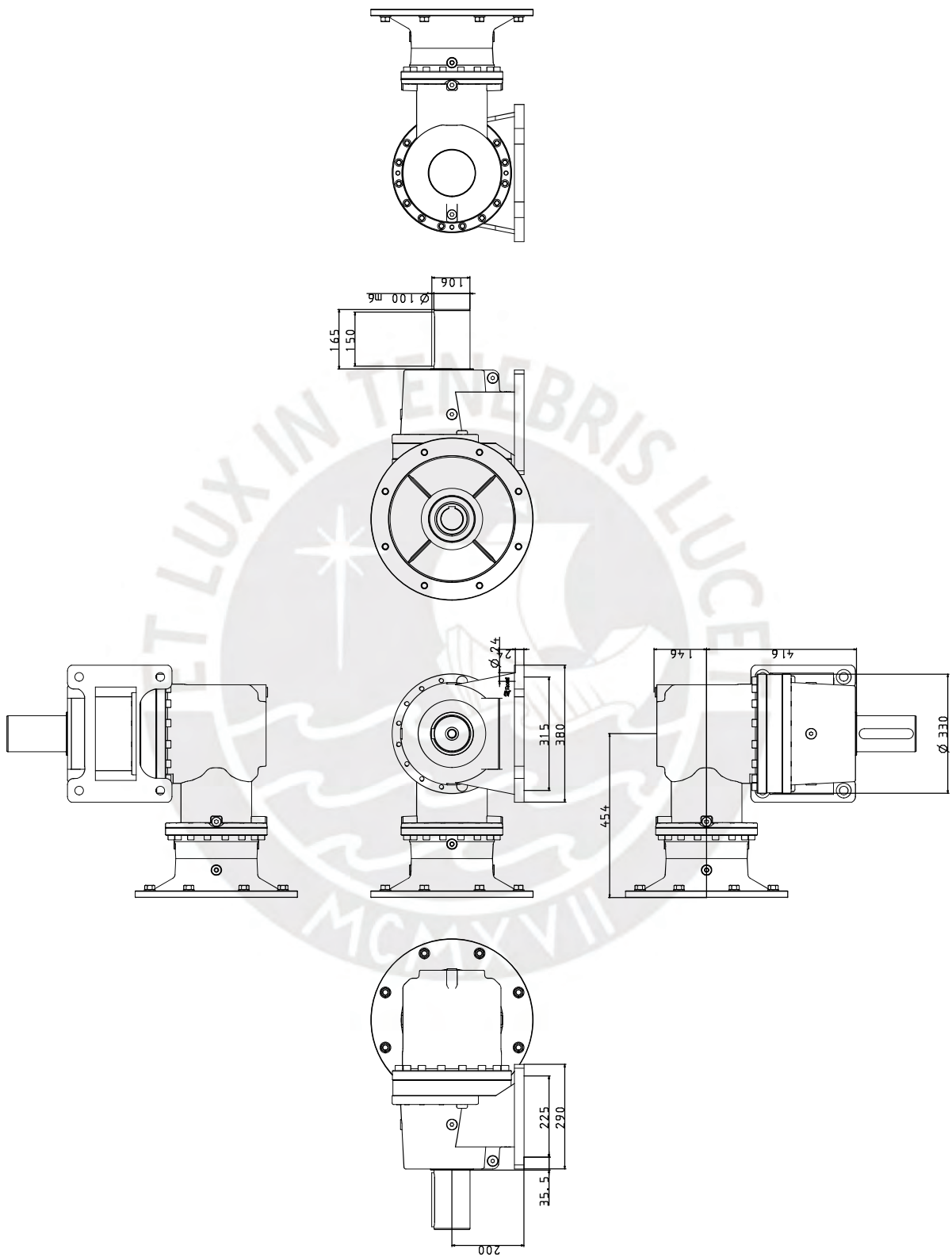
Rossi S.p.A. MODENA - ITALY
a company of the Habasit Group

Description
R ZEB 018A 10.4Y C100MI P100 160x450 B3

Date
15.06.2022

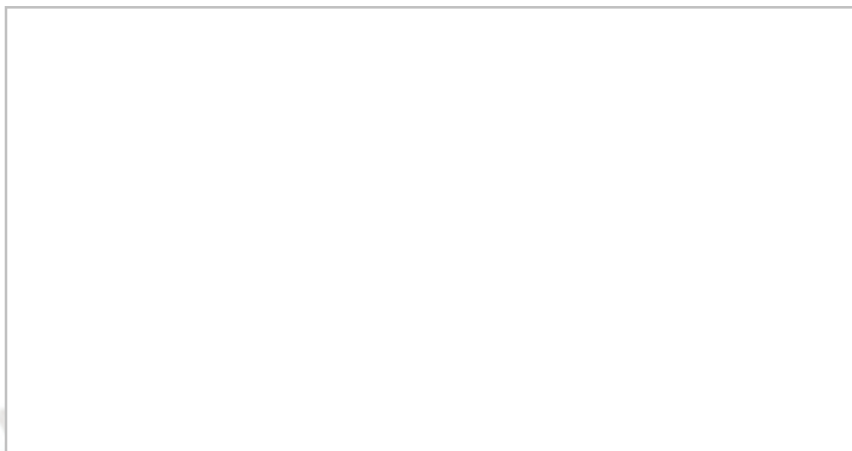


All contents, drawings and information in this document are sole property of Rossi S.p.A. It cannot be disclosed for purposes other than the scope for which it has been generated under the agreement between the Customer and an authorized Rossi representative. It cannot be reproduced (in whole or in part) without explicit written permission by Rossi S.p.A. legal representative, and in this case the intellectual property of the document remains solely of Rossi S.p.A.

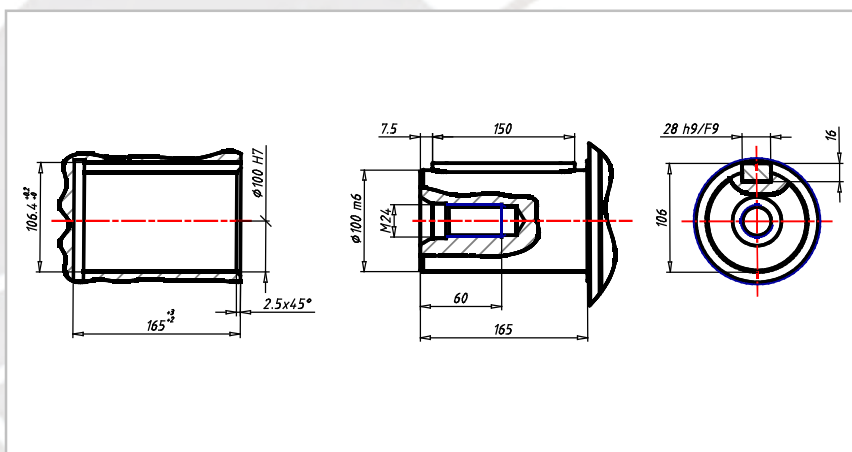


Designation: R 2EB 018A 10.4Y C100M1 P10d I60x450 B3

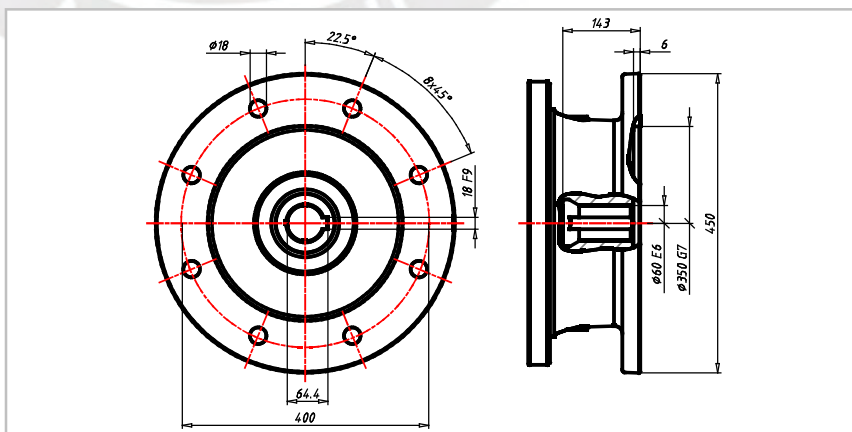
Plugs Position



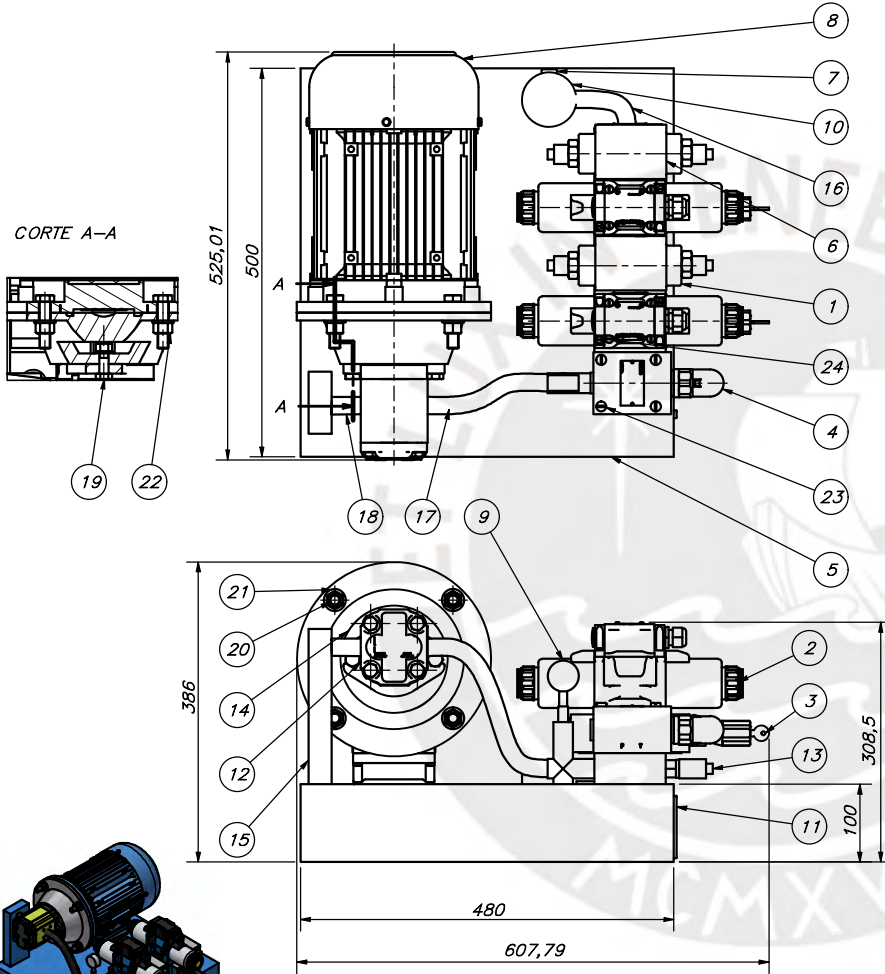
Output shaft C100M1 P10d



Input I-IEC electric motor adapter



CORTE A-A



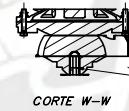
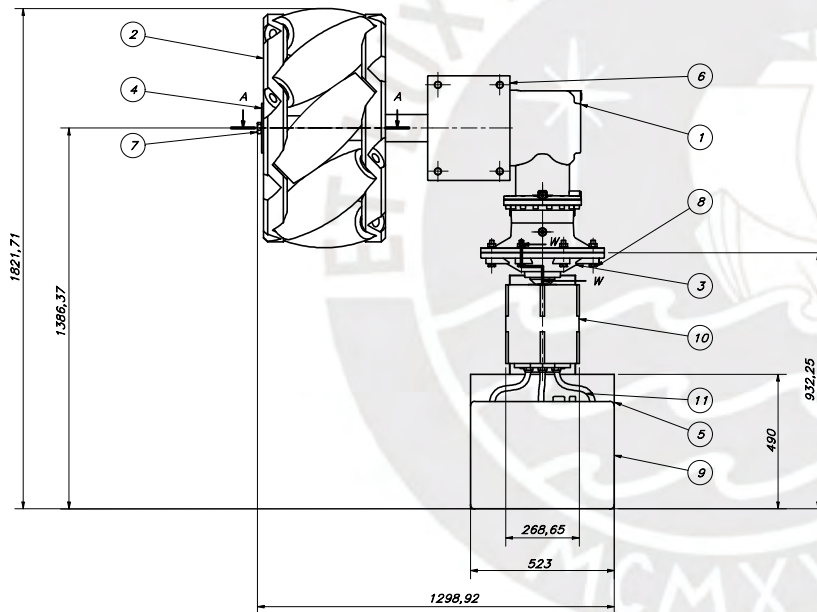
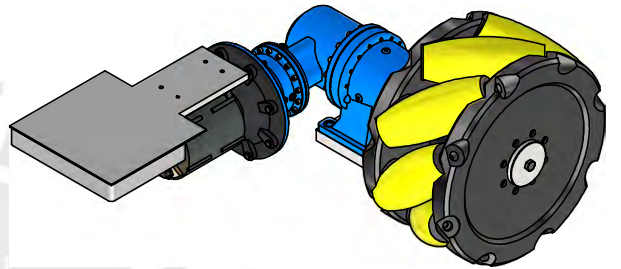
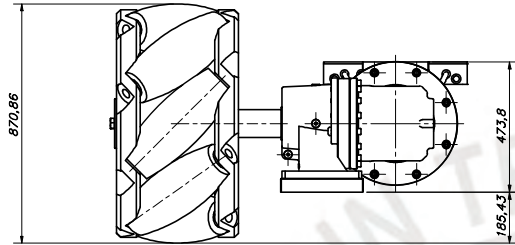
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

PARTS LIST

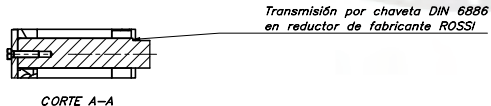
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
24	8	ISO 1207 - M6 x 60	ISO 1207	Acero inoxidable	
23	4	ISO 1207 - M8 x 80	ISO 1207	Acero inoxidable	
22	4	ISO 4033 - M14	ISO 4033	Acero	
21	4	ISO 7089 - 14	ISO 7089	Acero inoxidable	
20	4	ISO 4014 - M14 x 60	ISO 4014	Acero inoxidable	
19	1	ISO 4014 - M12 x 50	ISO 4014	Acero inoxidable	
18	1	Manguera SAE 100R4	SAE 100R4		
17	1	Manguera SAE 100R2	SAE 100R2		
16	1	Manguera SAE 100R1	SAE 100R1		
15	1	Manifold de bomba		Aluminio	
14	1	Adaptador Motor-Bomba		Acero, carbono	
13	4	Acoplamiento Parker roscado recto	ISO 9974		
12	1	Bomba de engranajes			Polaris PH 20 10.5
11	1	Indicador nivel de aceite			
10	1	Filtro de retorno			
9	1	Manómetro de bomba		Aluminio	
8	1	Motor DC 2KW			
7	1	Manómetro de retorno		Aluminio	
6	2	Tapa de válvula		Polycarbonato	
5	1	Tanque hidráulico 24 L		Aluminio 6061	
4	1	Válvula limitadora de presión			Rexroth 1X DBDS 10 PIX_315
3	2	Válvula estranguladora			Rexroth 3X Z2FS 10A3
2	2	Válvula direccional			Rexroth 4WE 10 J5X
1	2	Válvula antirretorno			Rexroth Z2S_10-2-3X

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA - MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC2	ESCALA
	SUB ENSAMBLE - SIST. HIDRAULICO	1:5
20171475	VERA ALFARO, KIRCK FERNANDO	FECHA: 2022.06.18
		LÁMINA: PUCP A3



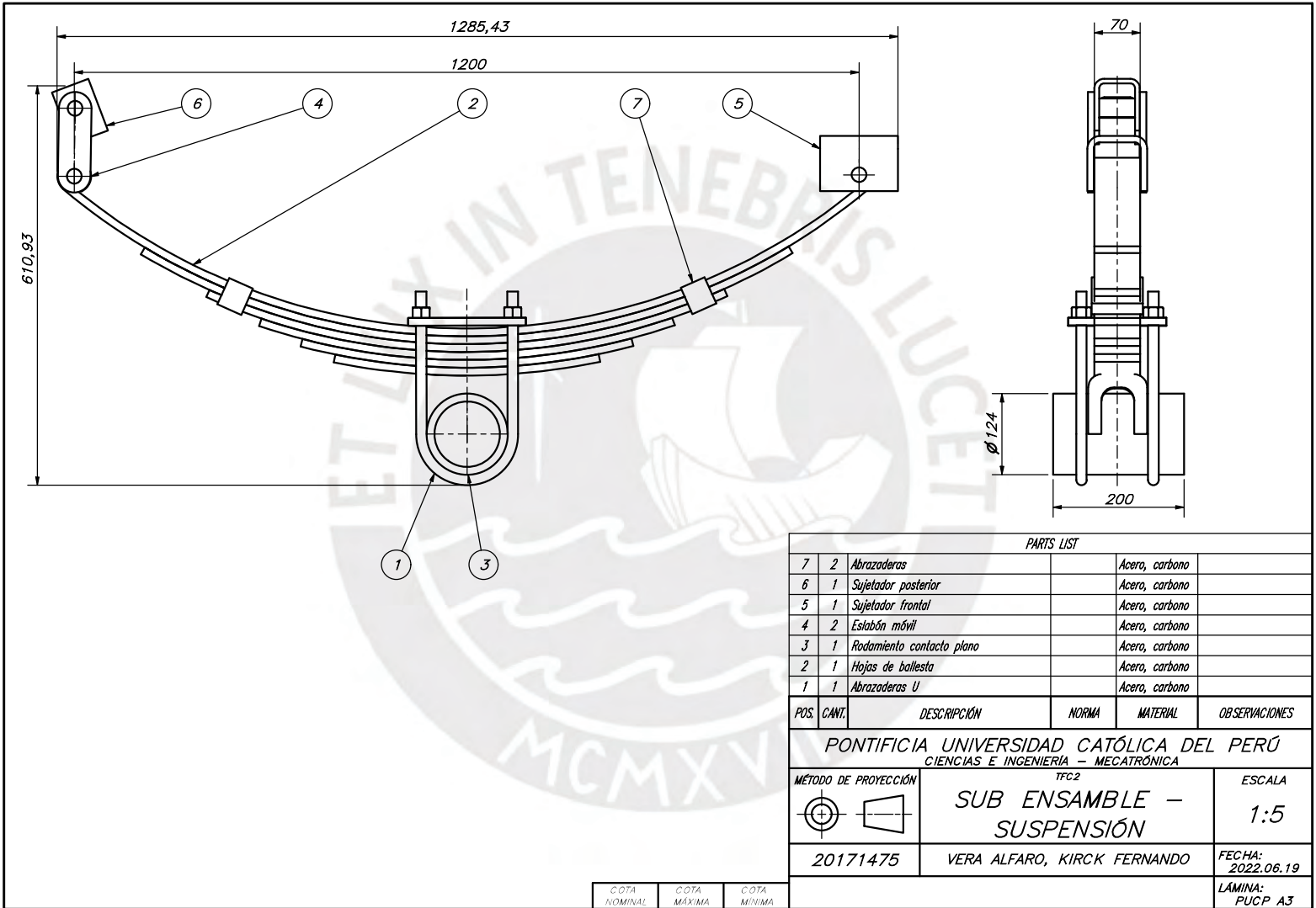
Transmisión por eje ranurado
 Splines DP 24/48
 Ángulo de presión 45°
 Número de dientes 32
 Diámetro max. 35,58 mm
 Diámetro min. 33,25 mm



PARTS LIST				
11	1	Cable conductor AMC		AMC 3/0
10	1	Motor eléctrico		AM Racing 250-115P
9	1	Controlador inversor	ISO 6469	Aluminio 6061 FMS FM2500Z
8	8	DIN 933 - M16 x 85	DIN 933	Acero, suavec
7	1	DIN 933 - M24 x 100	DIN 933	Acero, suavec
6	1	Soporte de reductor Rossi		Aluminio
5	1	Soporte de motor AMR		Aluminio
4	1	Tapa de chaveta		Acero, suavec
3	1	Eje de transmisión DP24/48		Acero, carbono
2	1	Rueda Mecanum		Yousheng YS-AMR05-100
1	1	Reductor		Rossi 110.4 V3

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		TFC 2		ESCALA	
20171475		VERA ALFARO, KIRCK		1:10	
				FECHA: 2022.06.04	
				LÁMINA: PUCP A2	

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



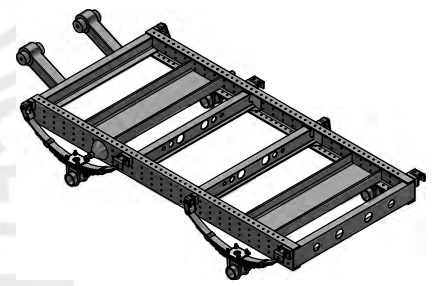
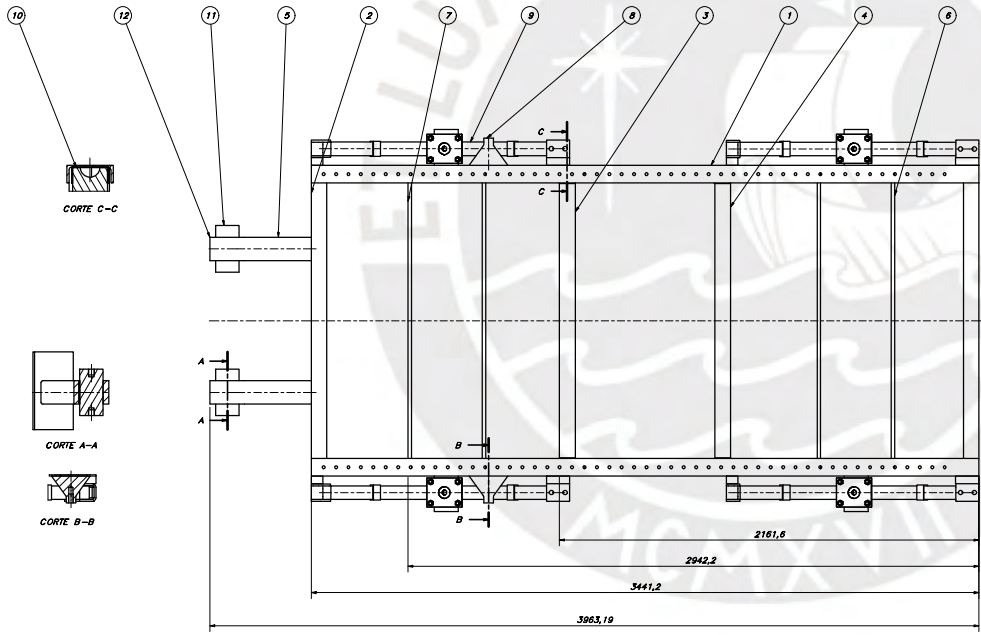
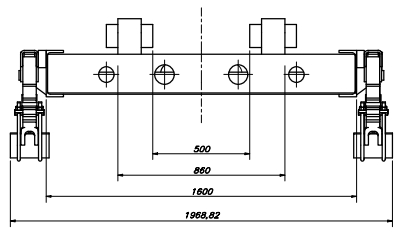
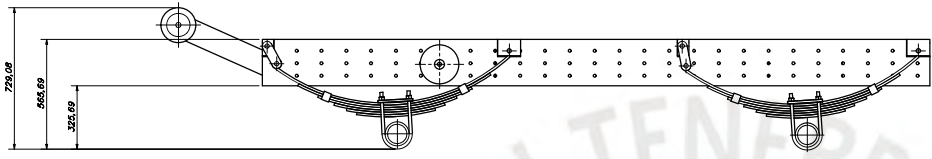
PARTS LIST				
7	2	Abrazaderas		Acero, carbono
6	1	Sujetador posterior		Acero, carbono
5	1	Sujetador frontal		Acero, carbono
4	2	Eslabón móvil		Acero, carbono
3	1	Rodamiento contacto plano		Acero, carbono
2	1	Hojas de ballesta		Acero, carbono
1	1	Abrazaderas U		Acero, carbono

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
------	-------	-------------	-------	----------	---------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA – MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC2	ESCALA
	SUB ENSAMBLE – SUSPENSIÓN	1:5
20171475	VERA ALFARO, KIRCK FERNANDO	FECHA: 2022.06.19
		LÁMINA: PUCP A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



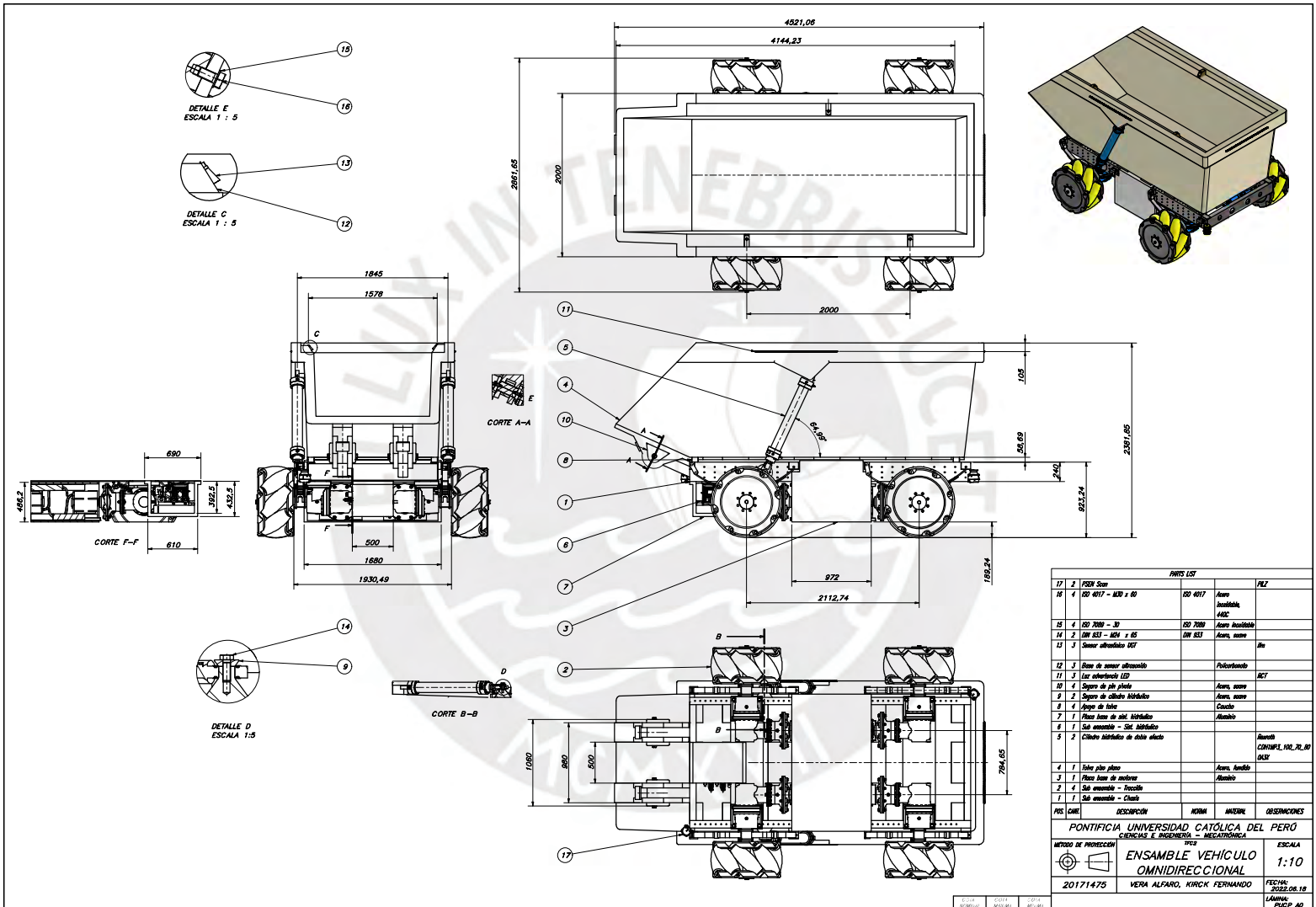
PART LIST				
12	2	Apoyo de platina	Acero, carbono	
11	2	Filo platina de later	Acero, carbono	
10	4	Cushion	Acero, carbono	
9	4	Salto resorte compresivo		
8	2	Ulna chasis-olinto	Acero, carbono	
7	1500	DM 1020-2 - UPE 400 - 1500	mm	DM 1020-2
6	1500	DM 1020-2 - UPE 400 - 1500	mm	DM 1020-2
5	1500	DM 50 410 - 150-120xL-5-50	mm	DM 50 410
4	1500	DM 1020 - 1 100-1504	mm	DM 1020
3	1500	DM 1020 - 1 100-1504	mm	DM 1020
2	3125	DM 1020-2 - UPE 200 - 1500	mm	DM 1020-2
1	1800	DM 1020-2 - UPE 240 - 3411	mm	DM 1020-2
POS. CAD.	DESCRIPCION	NORMA	UNIDAD	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
 FACULTAD DE INGENIERIA - MECATRONICA

METODO DE PROYECCION	ESCALA
1	1:10

20171475
 VERA ALFARO, KIRCK FERNANDO
 FECHA: 2022-08-18
 LAMINA: PUCP A1

ESCALA: 1:10
 FECHA: 2022-08-18
 LAMINA: PUCP A1



PARTS LIST			
ITEM	DESCRIPTION	NORMA	REMARKS
17	2 PSEV Ssm		PLZ
16	4 ISO 4017 - M20 x 60	ISO 4017	Acero inoxidable, ABC
15	4 ISO 7080 - 30	ISO 7080	Acero inoxidable
14	2 DM 833 - M24 x 65	DM 833	Acero, acero
13	3 Soporte articulados ISO		de
12	3 Base de sensor ultrasonido		Policarbonato
11	3 Tarx ultrasonido ISO		ACI
10	4 Soporte de eje piloto		Acero, acero
9	2 Soporte de eje piloto		Acero, acero
8	4 Arroyo de eje		Cuadro
7	1 Placa base de eje articulada		Aluminio
6	1 Set armadura - Set articulo		
5	2 Cilindro hidraulico de doble efecto		Acero CONINPE_102_RL_80 DASZ
4	1 Sabe para eje		Acero, Acero
3	1 Placa base de montaje		Aluminio
2	4 Set armadura - Incauto		
1	1 Set armadura - Chasis		

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU CIENCIAS E INGENIERIA - MECATRONICA			
METODO DE PROYECCION	ESCALA		
	1:10		
20171475	VERA ALFARO, KIRCK FERNANDO	FECHA: 2022-08-18 LAMINA: PUCP-00	