

ARTÍCULOS



BOLETÍN CIENTÍFICO TECNOLÓGICO

ACADEMIA POLITÉCNICA MILITAR

**INTEGRACIÓN DE UN RADAR DE VIGILANCIA EN LA
PLATAFORMA VEHICULAR DE UN PELOTÓN DE
EXPLORACIÓN TERRESTRE (PET)**



INTEGRACIÓN DE UN RADAR DE VIGILANCIA EN LA PLATAFORMA VEHICULAR DE UN PELOTÓN DE EXPLORACIÓN TERRESTRE (PET)

CRL. Jorge Kunstmann Casas.¹

MAY. Álvaro Jofré Elorza.²

MAY. Francisco Villalobos Sepúlveda.³

Resumen: *El siguiente estudio plantea la factibilidad de integrar un sistema de vigilancia (radar) sobre una plataforma vehicular (jeep) como lo muestra la figura N° 1. Esta integración será analizada desde la perspectiva de dotar a una unidad de exploración terrestre de un sistema de alerta y vigilancia para incrementar la capacidad de la unidad en el cumplimiento de su misión. Se desarrollará un análisis de la plataforma, sus capacidades y restricciones para incorporar el nuevo componente sin degradar su movilidad y autonomía, además de elevar la seguridad y protección de la tripulación. Los cálculos desarrollados demuestran la factibilidad de dicha integración, teniendo presente las consideraciones y modificaciones necesarias de realizar para obtener una nueva capacidad para este tipo de unidades de exploración.*

Palabras claves: *Compatibilidad electromagnética, Ergonomía, Integración, Interface, Presupuesto de energía, Relación peso-potencia*

Abstract: *The study, conducted as part of curricular activities magister Weapon System and Military Vehicles, provides for the implementation of the various disciplines of postgraduate studies. The need to integrate a surveillance system (radar) on a vehicle platform (jeep). This integration will be analyzed from the perspective of providing a unit of land exploration of a warning and monitoring system to increase the capacity of the unit in fulfilling its mission. An analysis of the platform, capabilities and constraints to incorporate the new component without degrading its mobility and autonomy, as well as increasing the safety and security*

1 Ingeniero Politécnico Militar en Armamento.

2 Ingeniero Politécnico Militar en Sistemas de Armas, mención Mecánica.

3 Ingeniero Politécnico Militar en Sistemas de Armas, mención Mecánica.



of the crew will be developed. The calculations show the feasibility of developing such integration, bearing in mind the considerations and modifications necessary to perform for a new capacity for this type of exploration scanning units.

Key words: *Electromagnetic, compatibility, Ergonomics, Integration, Interface, Power budget, Power-weight ratio*

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del trabajo es aplicar los conceptos y las diferentes herramientas de mecánica computacional, ergonomía, compatibilidad electromagnética, en la resolución de un problema práctico, considerando el diseño de una solución a nivel sistema, para analizar la viabilidad de integrar un radar de vigilancia «GO 12» sobre un «jeep Land Rover Defender 130», con el propósito de incrementar la capacidad técnica de este tipo de unidades de exploración y generar con ello una capacidad militar emergente.

El desarrollo de un diseño preliminar de integración de un sistema, concebido inicialmente como portátil, sobre una plataforma vehicular, para entregar una solución técnica de integración fundamentada en el análisis de la misión, performance y rendimiento esperado para el PET,⁴ fundamentado mediante cálculos y estudios que respalden las decisiones adoptadas en los aspectos de la integración.



Figura N° 1: Integración de un radar a una plataforma vehicular.

Fuente: <https://www.bnsd.co.uk>

4 Pelotón de exploración terrestre.



2. METODOLOGÍA PARA LA INTEGRACIÓN

La metodología de integración de sistemas aplicada implica realizar las siguientes consideraciones para evitar degradar las prestaciones del vehículo y el radar, generando sinergia en el empleo combinado como un sistema «Radar-Vehículo». Las restricciones a considerar fueron las siguientes:

- Evitar o minimizar la degradación de la plataforma vehicular y del radar, producto de la integración del radar.
- Satisfacer la funcionalidad del vehículo del PET, respecto a lo declarado en la doctrina institucional del empleo de los medios técnicos en la materialización de las misiones de observación, vigilancia y la búsqueda de información de combate.
- Permitir que el radar, una vez integrado, sea autónomo para el cumplimiento de una misión estándar, considerando principalmente la demanda de energía necesaria para el funcionamiento de los componentes del sistema.
- Incrementar el nivel de protección para la tripulación como prioridad y secundariamente para el equipamiento, considerando las implicancias en cuanto al aumento de peso, autonomía asociada, forma de empleo de los medios y el armamento de la tripulación.

Todo lo anterior para dar satisfacción al cumplimiento de una misión de exploración estándar definida en 72 horas continuas de funcionamiento de todos los componentes de comunicaciones, radar, además de conservar la autonomía del vehículo.

2.1 Pelotón de exploración terrestre

Los pelotones de exploración terrestre tienen una estructura especialmente concebida para cumplir misiones de exploración en el campo de batalla de acuerdo con las características de la unidad a la que pertenece y de la zona donde operará. Podrán variar su organización para el combate, y afrontar las diversas situaciones particulares que se puedan presentar, en función de la misión específica.

Los pelotones de exploración terrestre de nivel División y Brigada, cuentan con una serie de medios de exploración técnica y equipos para apoyar el cumplimiento de su misión de exploración y/o seguridad, tanto de día como de noche, en el área de empleo de la unidad, con el objeto de incrementar las capacidades de obtención de información sobre el adversario, el terreno, y apoyar la conducción de las operaciones de la unidad.



Las misiones generales del PET, pueden ser flexibles y adaptarse de acuerdo con los factores METTTC⁵ y las características de la unidad.

Las unidades de exploración deben cumplir numerosas tareas durante una misión, entre las cuales están:

- Encontrar, identificar y reportar todas las fuerzas adversarias dentro de la zona.
- Explorar terrenos específicos dentro de la zona y terrenos críticos que se identifiquen durante la ejecución.
- Reportar, oportunamente, la información que se obtenga, lo más cercano al tiempo real.

La doctrina actual no define la forma de empleo de los elementos técnicos y de las plataformas vehiculares de un PET, lo cual, desde el punto de vista de un estudio de integración no representa una limitación. Los requerimientos operacionales darán la orientación para que los requerimientos técnicos del estudio de integración permitan incorporar una nueva capacidad a la plataforma vehicular de esta unidad.

2.2 Sistemas intervenidos

2.2.1 Plataforma vehicular Land Rover Defender 130

Vehículo liviano, que permite transportar a tres exploradores más un conductor, todos con su equipo de combate, armamento individual, armamento colectivo y munición. En la actualidad cuenta con soportes interiores para alojar equipos y armamento, parrillas externas porta equipaje, afustes de armamento colectivo y alojamientos para lanzacohetes.



Figura N° 2: Land Rover modelo Defender 130.

5 Misión-Enemigo-Terreno-Tiempo atmosférico-Tropas disponibles-Consideraciones civiles.



El modelo Defender 130 (figura N° 2), con capacidad para el empleo en zonas desértica costera, depresión intermedia con arena, chusca y piedra, sin limitaciones de tránsito en cuanto a condiciones de terreno (arenal, terreno no compactado, terreno barroso), con bloqueo de diferencial, puede tractar un vehículo del mismo tipo, por al menos 50 km, de fácil y rápida reposición en terreno, neumáticos todo terreno con un ancho mínimo de 225 mm, con diseño tubular, con capacidad para rodar a baja presión en terrenos blandos, diámetro y ancho del neumático, sin contacto con la carrocería y con diseño que minimiza la generación de huellas y polvo. Tiene un peso bruto de 3.050 kg y su carga útil máxima es de 1.165 kg.

Tiene una estructura robusta que permite el carguío y transporte del personal con su equipo de combate completo, armamento y munición (3.050 kg). Posee un huinche de tracción eléctrica mayor o igual a 1.500 kg instalado en la parte delantera del vehículo, pintura anti corrosión, defensas frontal y trasera tubulares.

2.2.1.1 Sistemas del vehículo

Cuenta con un motor diésel de cuatro tiempos 2.400 cc, con potencia nominal de 122 hp, torque 350 Nm a 2000 rpm, inyección electrónica multipunto, desempeño en altura, hasta los 5.000 msnm, desarrolla una autonomía de 600 km. Cuenta con una planta motriz con alternador de 12 volts y 150 Amp/hora, temperatura de operación entre -10 y +50 °C y un sistema de transmisión, caja de cambios mecánica.

El sistema de suspensión delantera independiente rígida, permite disminuir los efectos de las vibraciones en la tripulación conforme a ISO Vibración estándar 2631. La suspensión trasera tipo “Heavy Duty” permite llevar toda la carga necesaria sin variar el comportamiento del vehículo, además de contar con una vida útil extendida. El sistema de dirección del vehículo es hidráulica asistida.

En cuanto al sistema eléctrico, este está constituido por un banco de baterías con una capacidad de 1.440 Wh y autonomía energética de entre una y tres horas. Cuenta con enchufe para carga eléctrica de 12 y 24 volts que permite la alimentación de equipos de telecomunicaciones y computadores. Un enchufe eléctrico hembra de 7 polos para remolque en la parte exterior trasera y una capacidad para instalar controles de luces tácticas en la cabina principal, luces traseras de vehículo independiente y luces infrarrojas.

Finalmente, el sistema de frenos hidráulicos de doble circuito, discos delanteros y traseros, permite detener completamente el vehículo en máxima pendiente (vertical y lateral), con máxima carga.



2.2.2 Radar GO-12, de vigilancia terrestre ligero

El Ground Observer 12 (GO-12, figura N° 3) es un radar de vigilancia terrestre especialmente diseñado y configurado para los requerimientos de la infantería y las fuerzas especiales, tropas que requieren de total portabilidad (peso ligero y pequeño tamaño), de elevada cobertura para propósitos de exploración, proporciona facilidad de integración con otras redes y sistemas.

Puede utilizarse de modo autónomo sobre un trípode o *integrado en plataformas vehiculares*. La configuración para transporte con trípode y MMI⁶ portátil pueden realizarse en tiempos menores a 2 min y por una sola persona.

Dado su pequeño tamaño (Sensor 0,53m x 0,35m x 0,13m) y peso ligero,(16 kg) un pack de radar autónomo incluyendo MMI portátil, trípode, cables y juego de baterías (para funcionamiento de 6 h) puede llevarse fácilmente mediante un arnés de transporte a lo largo de grandes distancias.

Gracias a su interfaz Ethernet/ASTERIX estándar, el sensor GO-12 puede integrarse fácilmente en sistemas y manejarse mediante principio cliente-servidor a través de cualquier red IP (cable, LAN de fibra óptica, WiFi, etc.) desde cualquier PC estándar.

Dispone de built-in-test (BIT) con cobertura en profundidad (durante funcionamiento y offline) lo que permite la lectura remota. Puede recibir alimentación desde fuentes de energía estándar de 24V (baterías, generadores, alternadores de vehículos) o a través de un convertidor CA/CC desde la red local.

Para la configuración autónoma, dispone de una fuente de alimentación por batería que permite el cableado simple a una distancia de hasta 100 m.

El GO-12, diseñado bajo las normas MIL-STD-810F y MIL-STD-461E, permite operar en cualquier entorno físico y electromagnético, desde -32 °C a +65 °C y con ráfagas de viento de hasta 130 km/h. El radar es 100 % estanco al agua (1m de inmersión) y resistente a la arena y el polvo. El concepto de mantenimiento multinivel del GO-12 permite una sencilla adaptación a las necesidades de las organizaciones, mientras que los MTTR⁷ bajos (≤ 5 min para cambio de LRU⁸ a nivel de operario, ≤ 30 min para cambio de SRU⁹ a nivel de campo) permiten una reparación rápida.

6 Man Machine Interface.

7 Mean Time To Repair.

8 Line Replaceable Unit.

9 Shop Replaceable Unit.



Figura N° 3: Radar GO 12

Fuente: <https://www.thalesgroup.com/en/ground-observer-12-go-12>

2.2.2.1 Características

- Modos múltiples
- Adquisición manual
- Búsqueda (vigilancia)
- Single Target Tracking (STT) o seguimiento de objetivo único
- Registro de fuego (opcional)
- Sectores múltiples (hasta 5) cada uno de hasta 360°
- Ajuste individual de parámetros
- Track-While-Scan (TWS) para 40 objetivos
- Clasificación automática de objetivos (o salida de tono Doppler)
- Función de grabación/reproducción

2.2.2.2 Parámetros claves

- Cobertura (hasta 27 km)
- Franja de alcance de 12 km (aumento de 24 km)
- Alcance mínimo de 70 m
- Haz de elevación $\approx 4^\circ$ ($\pm 15^\circ$ de posicionamiento)
- Velocidad radial de 1,5 km/h a 400 km/h
- Velocidades de escaneo: 12°/s a 32°/s
- Rangos de detección (PD=90%, Pfa=10⁻⁶)
- Persona (0.5 m²): ≥ 6 km
- Vehículo ligero (2 m²) ≥ 8 km
- Vehículo (10 m²) ≥ 12 km
- Helicóptero (5 m²) ≥ 11 km
- Peso (sensor aprox. 12 kg): aprox. 25 kg para pack completamente autónomo incluyendo trípode, MMI, baterías (6 h de funcionamiento), cables y arnés de transporte.



3. DESARROLLO DE LA INTEGRACIÓN

Dentro del análisis de la integración, se han tomado en cuenta los aspectos dimensionales, de performance del vehículo y del radar, sobre la base de la información presentada. Al respecto, el principal elemento de análisis de la funcionalidad del vehículo, tiene relación con el peso y cuáles son las consecuencias directas o indirectas en las performances y prestaciones del sistema con la integración del componente y equipamiento del radar.

3.1 Diseño de interfaces de integración

Para desarrollar la integración se realizó un estudio de las alternativas de soportes existentes en el mercado y que actualmente se encuentran en uso en diversos ejércitos. La idea de solución consiste en reemplazar la escalera adosada al parachoques trasero del vehículo (parte de chasis del Land Rover) y unida en su parte superior a la jaula multipropósito, por un sistema de mástil neumático que permita el izaje del sensor del radar y además facilitar a la tripulación, acceder a la jaula superior mediante soportes destinados como pisaderas.

El software de modelación empleado para diseñar la interface mecánica fue el SOLIDWORKS, el que permite modelar los componentes del diseño.

3.1.1 Mástil (figura N° 4)

El mástil que soportará el sensor del radar y que permitirá su izaje, está compuesto de 4 secciones (tabla N° 1), cada una de ellas con las siguientes dimensiones:

Tabla N° 1: Dimensiones del mástil.

SECCIÓN	DIÁMETRO mm	ALTURA mm	ALTURA ÚTIL mm
1	100	2.200	2.000
2	120	2.100	1.900
3	140	2.000	1.800
4	160	1.900	1.900

Como cada sección va al interior de la otra (1 dentro de 2 y sucesivamente, sin considerar la 4ta. sección), se considera un traslape de 0,2 m entre sección y sección, por lo que el mástil desplegado posee una altura útil de 7,6 m, lo que sumado a la



distancia que existe desde el parachoques trasero al suelo (lugar donde será instalado mediante un soporte, 0,4 m), alcanzará una altura de 8 m. Esta altura no considera las dimensiones del sensor del radar (0,5 m).

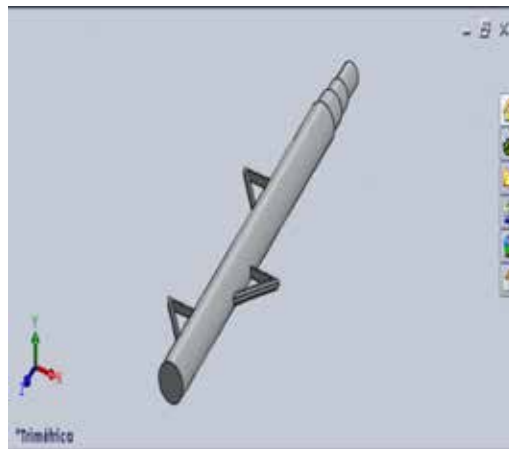


Figura N° 4: Modelo del mástil.

El material seleccionado para construir todos los componentes fue la aleación de aluminio 3.0204 (EN AW-1200), cuyas propiedades físicas son presentadas en la tabla N° 2 y que corresponde a la biblioteca del software utilizado para el diseño:

Tabla N° 2: Características del material seleccionado.

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
Módulo elástico	7e+010	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0,3897	N/D
Módulo cortante	2,7e+010	N/m ²
Densidad de masa	2700	kg/m ³
Límite de tracción	350000000	N/m ²
Límite elástico	200000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	2,4e-005	°K
Conductividad térmica	204	W/(m-°K)

Por el material seleccionado el mástil pesará 88 kg. Como el mástil reemplazará a la escalera que tiene el vehículo, este fue diseñado de tal forma que se le incorporó a la 4ta sección de su estructura 3 soportes o pisaderas que permitirán a la tripulación,



tener acceso a la parte superior de la plataforma las que además deben permitir el libre acceso, apertura de la puerta trasera y que los soportes exteriores no sobrepasen las dimensiones del vehículo. El reemplazar la escalera por el mástil incrementa el peso del vehículo en 48 kg ya que la escalera extraída pesa por si sola 40 kg.

3.1.2 Interfaz de soporte mástil-chasis

El soporte del mástil (figura N° 5) debe soportar el peso del mástil y el sensor del radar, debiendo ser conectado directamente al chasis del vehículo, permitiendo una mayor resistencia ya que además de soportar el peso propio de los componentes, deberá permitir que la tripulación acceda a la jaula superior.

El soporte deberá además soportar todas las solicitaciones durante la operación del radar, principalmente los momentos flectores producto de las cargas de viento presentes en la zona de empleo (esfuerzo principal).

En cuanto a su diseño, esta base permite introducir las secciones del mástil, posee un orificio en la parte inferior donde se conectará el suministro de aire proveniente del acumulador para el izaje del mástil. El soporte estará conectado directamente al chasis asegurando de esta forma un mayor grado de rigidez.

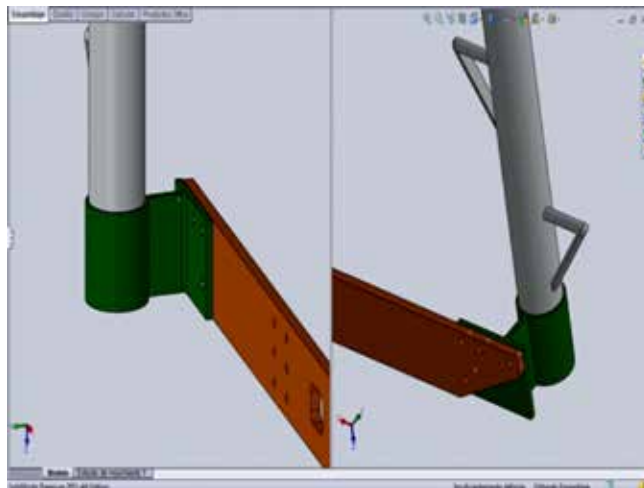


Figura N° 5: Modelo de unión soporte del mástil con el chasis.

El mástil será ubicado en la misma posición en que se encontraban los soportes inferiores de la escalera, permitiendo el libre acceso a la parte posterior del vehículo. Su posición no interferirá con la salida de los gases del tubo de escape y las luces de freno del vehículo.



Figura N° 6: Parte posterior Land Rover Defender (escalera a reemplazar).

3.1.3 Interfaz de soporte mástil-jaula

Como el mástil en sí, será empleado como una escalera (figura N° 7), se diseñó una segunda interfaz que junto con dar mayor rigidez al soporte del sensor del radar, permitirá tolerar los esfuerzos cuando el vehículo se encuentre en movimiento, cuando la tripulación acceda a la parte superior de la plataforma y colaborará con la interface mástil-chasis para mantener la posición de operación del radar a la altura requerida (8 m máximo) soportando las cargas principalmente producto del viento.

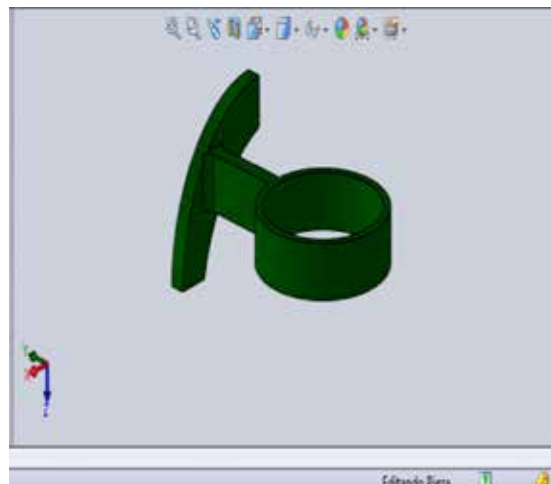


Figura N° 7: Modelo de la interface mástil-jaula.



3.1.4 Interfaz de soporte mástil-sensor

Se empleará el mismo sistema que se utiliza para integrarlo al trípode del equipo (entregado por el fabricante).

3.1.5 Modelo digital de la solución

A continuación se presenta en figura N° 8, la idea de solución para el requerimiento en un modelo digital.



Figura N° 8: Modelo de solución integrada.

3.2 Solicitaciones mecánicas

3.2.1 Carga de aire sobre superficies:

Teniendo en consideración la zona de empleo y las condiciones de viento que pueden presentarse durante la operación del radar, se considerará esta situación como la más desfavorable. El componente que será sometido a los mayores esfuerzos mecánicos será el sistema de anclaje entre el vehículo y el mástil que sostendrá el sensor a la altura requerida. El radar, montado sobre la interfaz y a una altura máxima de 8 m sobre el nivel del suelo, deberá resistir ráfagas de hasta 120 km/hr como condición más desfavorable, lo que está por debajo de los 130 km/hr señalados por el fabricante.

Para calcular la fuerza o carga del viento se debe conocer variables como la velocidad del viento, el coeficiente de resistencia para el objeto, el área y superficies que enfrentarán al viento.



3.2.1.1 Superficie del sensor:

$$S_s = L_s \times A_s \Rightarrow 0,565 \times 0,347 = 0,196 \text{ m}^2$$

Donde:

S_s : Superficie del sensor (m^2)

L_s : Largo del sensor (m)

A_s : Ancho del sensor (m)

3.2.1.2 Superficie del mástil:

$$S_m = L_m \times D_m \Rightarrow 6 \times 0,12 = 0,72 \text{ m}^2$$

Donde:

S_m : Superficie del mástil (m^2)

L_m : Largo del mástil (m)

D_m : Diámetro del mástil (m)

Por la disposición del mástil, solamente 6 de los 7,6 m estarán expuestos a la acción del viento, 1,6 m de mástil que corresponde a la sección N° 4 está protegida por la carrocería del vehículo.

El diámetro a considerar para el cálculo, como se trata de 3 de las secciones del mástil que son variables, se promediará para determinar un valor de la superficie aproximada. El promedio utilizado fue 0,12 m.

3.2.1.3 Presión del viento:

$$P_v = \frac{\gamma \times v^2}{2g} \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

$$P_v = \frac{1,2 \frac{kg}{m^3} \times \left(120 \frac{km}{h} \times \frac{1 \text{ hr}}{3.600 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}}{0,001 \text{ km}} \right)^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$P_v = 67,957 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$



Donde:

- P_v : Presión del viento (kg/m^2)
- ρ : Densidad del aire estándar (kg/m^3)
- v : Velocidad del viento (km/h)
- g : Constante de gravedad (m/s^2)

3.2.1.4 El momento en el sensor:

$$M_s = P_v \times S_s \times g \times h$$

$$M_s = 67,957 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right] \times 0,196 \text{ m}^2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 7,6 \text{ m}$$

$$M_s = 993,053 \text{ Nm}$$

Donde:

- M_s : Momento en el sensor (N/m)
- P_v : Presión del viento (kg/m^2)
- S_s : Superficie del sensor (m^2)
- g : Constante de gravedad (m/s^2)
- h : altura del mástil (m)

$$M_m = P_v \times S_m \times g \times \frac{h}{2}$$

$$M_m = 67,957 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right] \times 0,72 \text{ m}^2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \frac{7,6}{2} \text{ m}$$

$$M_m = 1.823,98 \text{ Nm}$$

3.2.1.5 El momento en el mástil:

Donde:

- M_m : Momento en el mástil (N/m)
- P_v : Presión del viento (kg/m^2)
- S_m : Superficie del mástil (m^2)
- g : Constante de gravedad (m/s^2)
- h : altura del mástil (m)



3.2.1.6 El momento total es:

$$M_t = M_s \times M_m$$

$$M_t = 993,053 \times 1.823,98$$

$$M_t = 2.817,03 \text{ Nm}$$

Donde:

M_t : Momento total (N/m)

M_s : Momento en el sensor (N/m)

M_m : Momento en el mástil (N/m)

El límite elástico del material seleccionado es de 200.000.000 N/m², el área que soportará el momento flector en el soporte del mástil es de 0,2 x 0,02 m = 0,004 m². Para esta superficie, el límite elástico se alcanza ante esfuerzos superiores a 800.000 N, muy superior a los 2.817,03 N que provoca la acción del viento sobre el sensor y el mástil.

Si bien la velocidad del viento en la zona de empleo no supera los 120 km/hr, es importante que el diseño de la estructura, principalmente soporte o interfaz mástil-chasis, soporte cargas sobre estas condiciones.

Para demostrar la funcionalidad del modelo desarrollado y la correcta selección del material, se realizó un análisis con elementos finitos en el software de modelación (ver figura N° 9 y figura N° 10).

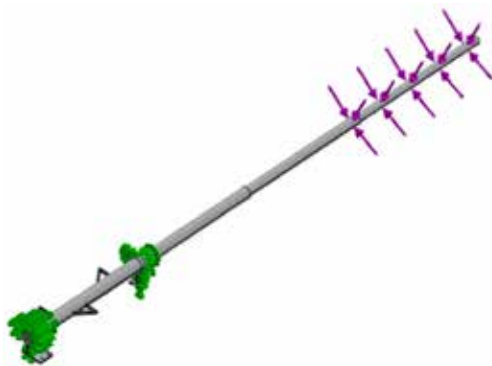


Figura N° 9: Análisis de elementos finitos.

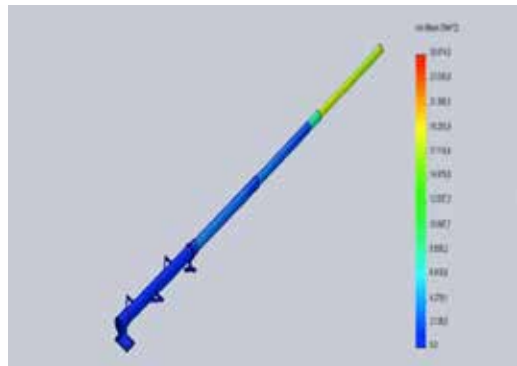


Figura N° 10: Análisis de tensión de von Mises.



Los resultados demostraron que con las cargas de viento presente en la zona de empleo, no se provocará el colapso de la estructura diseñada. Estos resultados comprueban los cálculos desarrollados con anterioridad.

4. MILITARIZACIÓN DEL VEHÍCULO

El vehículo fue transformado desde una versión civil (1.165 kg) hasta una de uso militar, el peso agregado fue de 300 kg en total, y considera: jaula de fierro, cajas y parrillas de almacenamiento y la habilitación de una estación de trabajo en la parte posterior del vehículo.

4.1 Blindaje del vehículo

Para asegurar como primera prioridad la supervivencia de la tripulación y posteriormente el equipamiento, serán reforzadas las puertas del vehículo mediante placas de kevlar y se reemplazarán la totalidad de los vidrios del vehículo.

Realizadas las comparaciones de material que se emplea para proteger ventanas y puertas de los vehículos Humvee; y determinadas las superficies a cubrir se estableció lo siguiente:

- La superficie de vidrio a cubrir en el vehículo es de 25.200 cm², lo que dará un peso del vidrio blindado de 236 kg (figura N° 11).
- En cuanto al blindaje de las puertas (rellena con láminas de kevlar) para cinco puertas da un total de 110 kg (figura N° 12).



Figura N° 11: Vidrio blindado del Humvee.



Figura N° 12: Puerta blindada del Humvee.



4.2 Pesos totales

El detalle de cada uno de los pesos de la totalidad de los componentes agregados y removidos se presenta en las siguientes tablas:

Tabla N° 3: Pesos agregados a la plataforma.

CANTIDAD DE ELEMENTOS		PESO TOTAL DISPONIBLE (1.165 kg)	
		TOTAL	DIF.
01	Militarización	300	865
04	Soldado c/ equipo	460	405
02	Radios	6,8	398,2
01	Computador	2,5	395,7
02	2 Bidones	38	357,7
01	1 Bidón de agua	21	336,7
02	2 Baterías	48	288,7
01	1 Ametralladora	7,9	280,8
01	1 Generador 1000 W	13	267,8
01	1 Sistema radar	30	237,8
01	Montaje radar	70	167,8
01	Varios	30	137,8
01	Red mimetismo	20	117,8
01	Munición 5,56	120	-2,2
01	Motor	411	-413,2
01	Sistema neumático	25	-438,2
01	Patas de apoyo	13	-451,2
01	Blindaje vidrios	236	-687,2
		110	-797,2

**Tabla N° 4: Pesos de elementos removidos.**

CANTIDAD DE ELEMENTOS		PESO TOTAL DISPONIBLE (-797,2 kg)	
		TOTAL	DIF.
01	Motor antiguo	280	-517,2
01	Vidrios antiguos	43	-474,2

De los 1.165 kg disponibles originalmente, se ha sobrepasado ese valor con los elementos agregados en 474,2 kg, dando un total de 1.637,2 kg lo que modificará las performances del vehículo (relación de peso/potencia, sistema de suspensión, etc.).

4.3 Relación peso potencia:

Para determinar la potencia en relación al peso del vehículo se analizó tanto las performance originales para el vehículo sin y con carga completa. Posteriormente se igualó esta relación para determinar la nueva potencia necesaria para mantener la relación original de diseño.

4.3.1 Relación peso potencia original sin carga

$$3.050 \text{ kg} / 122 \text{ HP} = 25 \text{ kg/HP}$$

4.3.2 Relación original con carga

$$(3.050 + 1.165) \text{ kg} / 122 \text{ HP} = 35 \text{ kg/HP}$$

1.165 kg corresponde a la máxima carga permitida por el fabricante en el diseño sin intervenir del vehículo.

4.4 Necesidades de potencia requeridas

Para determinar la cantidad de HP necesarios para mantener las relaciones peso potencia con el nuevo peso se realizaron los siguientes cálculos:

4.4.1 Performance del vehículo original sin carga

$$(3.050 + 1.637) \text{ kg} / 25 \text{ HP} = 187,5 \text{ HP}$$



4.4.2 Performance del vehículo original con carga

$$(3.050 + 1.637) \text{ kg} / 35 \text{ HP} \times = 133,9 \text{ HP}$$

Para mantener las performances en cuanto a la potencia, el motor debería a lo menos entregar 133,9 HP que equivaldría a lo necesario para desplazarse con carga completa, siendo lo ideal que se acerque lo más posible a 187,5 HP, que sería el equivalente a la relación que poseía la plataforma en su forma original sin carga.

4.5 Planta de potencia

Para suplir la diferencia de potencia del actual motor se seleccionó del mercado el motor modelo Cummins 6BTA5.9-G2 G-DRIVE DIESEL de 5,9 litros y 174 HP, (Ver figura N° 13).



Figura N° 13: Motor Cummins 6BTA5.9-G2.

Fuente: <https://www.cummins-engine.es/76bta5-9-g2>

En cuanto a las dimensiones del nuevo motor calza en el compartimiento original sin realizar modificaciones.

4.6 Refuerzo de suspensión

Debido al incremento del peso es necesario reforzar el sistema de suspensión. Para dar solución a la problemática se seleccionó un sistema neumático que se inserta en el interior del resorte de la suspensión, colocando el amortiguador de forma separada como se muestra en la figura N° 14.



Figura N° 14: Posición del amortiguador.

El nuevo sistema de suspensión (figura N° 15 y 16) posee un contenedor de aire a presión flexible que se inserta en el interior del resorte el cual tiene la particularidad de poder variar la rigidez de la suspensión de acuerdo a la cantidad de presión de aire que este recipiente contenga, de esta manera se puede cambiar a voluntad dependiendo del peso del vehículo, el tipo de terreno y tipo de conducción.



Figura N° 15: Sistema neumático de amortiguación.
Fuente: <https://www.neumaval.com>



Figura N° 16: Componentes del sistema de suspensión.
Fuente: <https://www.neumaval.com>

Para su funcionamiento cuenta con un compresor, acumulador de aire, mangueras y un panel, el cual se coloca en el interior del vehículo a la vista del conductor. Este puede regular la presión de los contenedores de aire de manera independiente.



4.7 Requerimiento eléctrico

El vehículo cuenta con tres baterías, una asociada al motor y dos para proveer alimentación durante el tiempo de la operación en silencio. Las baterías auxiliares están conectadas en paralelo con la batería principal del motor cuando este está en marcha. Durante el periodo de silencio, las baterías auxiliares requieren supervisión del nivel de energía para evitar que estas se descarguen. En la figura N° 17 se muestra el dispositivo que permite monitorear el voltaje de las baterías.



Figura N° 17: Supervisión de carga de baterías.

4.8 Capacidad de las baterías

En los cálculos de requerimientos de energía, por lo general, se asume el 80% de la capacidad de la batería declarada por el fabricante.

Las dos baterías auxiliares del vehículo tienen las siguientes características (ver figura N° 18):



Battery Model: D31M
Part Number: 8052-161
Nominal Voltage: 12 volts
NSN: 6140 01 502 4405
Description: High power, dual purpose engine start and deep cycle, sealed lead acid battery

Figura N° 18: Baterías auxiliares.

Fuente: <https://www.optimabatteries.com>



La capacidad de almacenamiento de energía de las baterías está determinada por:

$$(12 V \times 75 Ah) \times 2 = 1800 Wh$$

Si se considera un margen de seguridad del 20%: $0.8 \times 1800 Wh = 1.440 Wh$

4.9 Consideraciones de energía para las radios

El consumo de energía durante la transmisión y recepción es diferente de los equipos de comunicaciones. Se asume la proporción de transmisión-recepción 1:15. La radio utiliza 50W para transmitir y 6W para recibir, (ver figura N° 19).



Figura N° 19: Equipo de comunicaciones Tadiran VRC 980.

Fuente: <https://www.elbitsystems.com>.

4.9.1 Potencia media de consumo

$$(1/16) \times 50 W + (15/16) \times 6 W = 8,75 W$$

4.9.1.1 Requerimientos de energía (ver tabla N° 5)

Tabla N° 5: Tabla de gasto de energía.

CANTIDAD ELEMENTOS		REQUERIMIENTO Wh	
		UNITARIO	TOTAL
02	Radio	8,6	17,5
02	Computador	36	72
02	Luz interior	6	12
01	C. Térmica	120	120
01	Radar	110	110
04	Pilas AA	4	16
		Total	347,5 Wh



4.9.2 Cálculo de la autonomía energética

La misión que debe realizar el PET tiene una duración de 72 h y solo una autonomía con las dos baterías auxiliares de 4,14 h. Por lo tanto es necesario utilizar un elemento externo que proporcione la electricidad necesaria para suministrar esta diferencia.

$$\text{Tiempo (h)} = \frac{\text{Energía disponible por hora (wh)}}{\text{Consumo de energía (w)}}$$

$$\text{Tiempo (h)} = \frac{1.440}{347,5} \Rightarrow 4,14 \text{ h}$$

4.10 Determinación del generador de corriente

Para suministrar la energía requerida para el cumplimiento de la misión, se considerará un generador de 1.000 W. A continuación se realizarán los cálculos de consumo de combustible del generador, tiempo de funcionamiento del dispositivo y tiempo necesario para recargar el banco de baterías.

4.10.1 Superávit de energía disponible del generador

$$1.000 \text{ Wh} - 347,5 \text{ Wh} = 653 \text{ Wh}$$

4.10.2 Tiempo necesario en cargar las baterías auxiliares

$$1.440 \text{ Wh} / 653 \text{ (Wh/h)} = 2,2 \text{ h}$$

Un ciclo considera 4,14 h de operación, más 2,2 h de operación y carga, la cual tiene una duración de 6,34 h en total.

4.10.3 Tiempo necesario de uso del generador

$$72 \text{ h} / 6,34 \text{ h} = 11,36 \text{ ciclos} \times 2,2 \text{ h}$$
$$\text{Uso del generador} = 24,992 \text{ h}$$

5. DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD

5.1 Centro de gravedad sin intervención

Para la determinación del centro de gravedad se procedió al pesaje de los ejes del vehículo Land Rover Defender. Posteriormente, mediante el empleo de un puente grúa



y un dinamómetro (figura N° 20), se evaluó la posición en altura del centro de gravedad, con el fin de determinar la sollicitación en el eje frontal. Estas pruebas se realizaron sin personal y simulando el peso y posición de los equipos de comunicación.



Figura N° 20: Pesaje tren delantero.

Fuente: IDIC

Para la determinación de la localización del centro de gravedad, se configuró el prototipo y se evaluó el peso en los ejes, posteriormente se introdujeron las distancias y los pesos en una planilla de autoría del Departamento de ingeniería del IDIC la cual arroja el punto donde se encuentra el centro de gravedad del vehículo sin modificaciones (ver figura N° 21).

DATOS DEL VEHÍCULO		RESULTADOS	
Dimensiones			
Radio del neumático (R)	0,403 m	Altura del c.d.g. (h)	1,33 m
Distancia entre ejes (L)	2,794 m	Distancia al eje delantero (a)	1,59 m
Pesos por ejes			
Vehículo horizontal			
Delantero (Pa)	1,080 t	Distancia al eje trasero (b)	1,21 m
Trasero (Pb)	1,420 t		
Vehículo inclinado			
Delantero (Pc)	0,760 t		
Angulo de inclinación (α)	21 °		

Figura N° 21: Ubicación del centro de gravedad.

Fuente: IDIC



5.2 Centro de gravedad vehículo intervenido

En la distribución del peso de las modificaciones efectuadas, se realizó de tal forma que quedo equiparado el peso al interior del vehículo (ver tabla N° 6).

Tabla N° 6: Peso del nuevo equipamiento.

ELEMENTO		kg
01	Militarización	300
04	Soldado c/ equipo	460
02	Radios	6,8
01	Computador	2,5
02	2 Bidones (1 diésel, 1 gasolina)	38
01	1 Bidón de agua	21
02	2 Baterías	48
01	1 Ametralladora	7,9
01	1 Generador	13
01	1 Sistema radar	30
01	Montaje radar	70
01	Varios	30
01	Red mimetismo	20
6000	Munición 5,56	120
01	Motor	411
01	Sistema neumático	25
01	Sistema patas de apoyo	13
01	Blindaje vidrios	236
01	Blindaje puertas	110



Supuestos:

- a) El centro de gravedad no se movió de su eje longitudinal.
- b) Se asume que la totalidad del peso extra que se encuentra desde el centro de gravedad hacia adelante es absorbido por el eje delantero y del centro de gravedad hacia atrás por el trasero.
- c) Con respecto a la altura de los elementos se asume la misma que tenía en el centro de gravedad original.

Nuevo peso en el eje delantero:
 $1499 + 534 = 2.033$

Nuevo peso en el eje trasero:
 $1972 + 718.5 = 2.690$

Reemplazando los nuevos datos obtenemos:

Centro de gravedad desde el eje delantero:
1.591 mm

Centro de gravedad desde el eje trasero:
1.203 mm

6. ANÁLISIS DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

Para el funcionamiento del radar, equipos complementarios y equipos de comunicaciones, se analizó los posibles efectos de interferencia electromagnética que pueden causar los componentes de radio y computadores que interactúan con el radar, los que de acuerdo a la documentación técnica analizada, son compatibles conforme a las normas MIL-STD 461-E.

- a) Las perturbaciones electromagnéticas generadas quedan limitadas a un nivel que permita a los equipos de radio y de telecomunicaciones u otros equipos funcionar con el fin para el que han sido fabricadas.
- b) El nivel de protección adecuado frente a las perturbaciones electromagnéticas previsibles que permita al equipo funcionar sin una degradación inaceptable en su uso previsto.



7. ANÁLISIS ERGONÓMICO

En el desarrollo de la integración del sistema de armas, los aspectos de ergonometría se centran en el habitáculo del operador del radar que se encuentra ubicado en la parte posterior trasera del vehículo. El resto de los habitáculos de la tripulación no se han analizado, debido a que en esta integración estos emplazamientos no sufrieron modificaciones (ver figura N° 22)



Figura N° 22: Interior Land Rover Defender.

Los aspectos analizados, para no degradar el desempeño del operador, las condiciones fisiológicas y minimizar la fatiga del personal, tienen relación con los elementos de interfaz hombre máquina, factores humanos y su interacción con la tecnología, fueron los siguientes:

- Distancias y espacios disponibles dentro del habitáculo, desplazamiento de hombros, codos, movimiento de cabeza, cuello, además de la línea de visión del operador considerado la aplicación de la Norma MIL STD 1472F que establece distancias mínimas y máximas de posición de displays de los computadores.
- Distancia y estiramiento de las piernas en posición sentado, para lo cual, se ha considerado la aplicación de la Norma MIL STD 1472F, lo anterior debido al efecto que causa mantener las rodillas flexionadas durante un periodo prolongado de tiempo.
- Levantamiento de pesos y trabajo con brazos estirados, dentro del concepto de movimiento funcional de los brazos, el cual también se considera la Norma MIL STD 1472F, considerando que el operador de radio debe trabajar durante periodos prolongados de tiempo utilizando sus brazos para operar y manipular el computador y los equipos del radar.
- Respecto de la emisión de ruido, conforme a norma ISO Technical Report 3352-1974, se han considerado las distancias adecuadas entre los miembros de la tripulación del vehículo, para evitar la propagación de ruido entre emisores y receptores con el propósito de lograr una efectiva comunicación, considerando que el vehículo no posee sistemas de intercomunicación internos.



8. CONCLUSIONES

En cuanto a los antecedentes de la doctrina evaluados se puede concluir que no existe una definición respecto de la forma de empleo de los elementos técnicos y de las plataformas vehiculares sujetas al análisis, lo cual, desde el punto de vista de la integración no representa una limitación considerando la doctrina de empleo. Por lo tanto, cualquier iniciativa de integración del radar GO-12 sobre la plataforma Vehículo Land Rover Defender 130, permitirá contribuir a los principios de empleo del sistema de armas respecto de las misiones que le compete.

Dado que existen por una parte, condiciones técnicas iniciales de los equipos y plataformas vehiculares que se deben integrar, y por otra parte definiciones doctrinarias muy amplias respecto del empleo de los medios técnicos de los PET, se asumen en el estudio que las características de performances en cuanto la autonomía, dimensiones y capacidades para transporte de personal del vehículo, satisfacen los requerimientos de utilización en función de las misiones definidas doctrinariamente.

Los programas de modelación permiten, entre otras aplicaciones, simular, observar y analizar el movimiento de mecanismos. A través de una interfaz gráfica en 3D es posible observar los conjuntos modelados y observar el movimiento de éstos, entregando una serie de datos relevantes para las experiencias físicas y matemáticas. Además, optimizan y validan el funcionamiento del producto antes de la fabricación. Los análisis de simulación de movimiento y de tensión están estrechamente integrados, lo que ayuda a predecir el funcionamiento del diseño en condiciones reales, con el consiguiente ahorro de tiempo y costos en prototipos. Al mismo tiempo, ello contribuye a dar seguridad y solidez a los diseños.

Finalmente las consideraciones, cálculos y modificaciones propuestas en el estudio desarrollado, es factible incorporar a la plataforma vehicular del PET un sistema de vigilancia para incrementar la capacidad de esa unidad. Esto debe estar acompañado de las consideraciones expuestas para no degradar el performance del vehículo, equipos y la seguridad de la tripulación en el cumplimiento de las misiones de exploración asignadas a este tipo de unidades.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CRANFIELD UNIVERSITY, (1996) Ammunition Technology, volumen 1, The ammunition systems & explosives technology unit.
- [2] WONG, J.Y. (2008). Theory of ground vehicles. New York: John Wiley & Sons, Inc.