Proyecto: Vehículo Autónomo de Telemetría

Alejandro Arteaga
Mayerly Alejandra Suarez
Paula Llanos

Escuela Ciencias Aplicadas e Ingeniería, Universidad EAFIT
Telemática
Profesor: Alber Oswaldo Montoya Benitez

Medellín, Colombia
4 de octubre de 2025

Índice

1. Introducción

El presente documento describe la especificación del protocolo de comunicación diseñado para el sistema **Vehículo Autónomo – Telemetría**, bajo una arquitectura cliente–servidor. Este sistema tiene como propósito permitir que múltiples clientes se conecten a un servidor central, reciban periódicamente datos de telemetría (velocidad, nivel de batería, temperatura y dirección del vehículo) y, en el caso de usuarios con privilegios de administrador, puedan enviar comandos de control para modificar el comportamiento del vehículo.

El protocolo, denominado **TLP/1.0**, se fundamenta en un canal confiable orientado a conexión (TCP/IP) y emplea mensajes de texto simples para garantizar la compatibilidad con clientes ligeros y facilitar su implementación.

Objetivo del protocolo:

Definir un mecanismo de comunicación claro, eficiente y extensible que permita:

1. La transmisión periódica y estandarizada de telemetría del vehículo hacia los clientes.
2. La autenticación de usuarios con diferentes roles (observador y administrador).
3. El envío de comandos de control desde administradores hacia el vehículo, con validación de reglas de seguridad y operación.
4. La interoperabilidad entre distintos clientes (ej. implementaciones en Java o Python) sin ambigüedades en el formato de los mensajes.

Con este protocolo se busca establecer una base formal que asegure el monitoreo confiable del vehículo autónomo y un control remoto seguro, ofreciendo un diseño simple pero adaptable a futuras versiones o ampliaciones funcionales

2. Componentes:

El sistema Vehículo Autónomo – Telemetría está compuesto por dos entidades principales que interactúan mediante el protocolo TLP/1.0: el servidor y los clientes. Cada uno cumple funciones específicas dentro de la arquitectura cliente–servidor.

Servidor(C)

El servidor constituye el núcleo del sistema. Su función principal es aceptar conexiones entrantes de múltiples clientes, mantener el registro de usuarios conectados y gestionar la comunicación. Además, es responsable de difundir periódicamente mensajes de telemetría con sus clientes, procesar comandos de clientes administradores, aplicar reglas de validación a las condiciones del vehículo y registrar eventos que afecten al servidor.

Clientes (Java/Python)

Los clientes son aplicaciones externas que establecen conexión con el servidor utilizando TCP/IP, para el proyecto se contemplan dos tipos principales de clientes que fueron implementados tanto en Python como Java:

- Clientes observadores (ROLE_OBSERVER): pueden suscribirse a la telemetría para recibir periódicamente información del vehículo. Sus comandos están limitados a consultas básicas como HELLO, SUBSCRIBE o LIST USERS.
- Clientes administradores (ROLE_ADMIN): poseen todos los privilegios del observador y, adicionalmente, tienen la capacidad de enviar comandos de control (SPEED UP, SLOW DOWN, TURN LEFT, TURN RIGHT).

3. Visión General del Protocolo

El protocolo de comunicación definido para el proyecto se denomina **TLP/1.0 (Telematics Lightweight Protocol, versión 1.0)**. Se trata de un protocolo orientado a texto, diseñado para operar sobre conexiones confiables establecidas mediante **TCP/IP**. Su objetivo es proporcionar un canal de comunicación claro, ligero y extensible, que facilite tanto la transmisión periódica de telemetría como el envío de comandos de control.
El protocolo se implementa bajo un modelo **cliente–servidor**. El servidor mantiene un socket abierto en un puerto predefinido y acepta múltiples conexiones concurrentes. Los clientes, una vez conectados, pueden autenticarse y suscribirse al flujo de telemetría. En caso de contar con privilegios administrativos, pueden además enviar órdenes de control que modifican el estado del vehículo autónomo.

Roles:

- Observer (**ROLE_OBSERVER**): los clientes observadores pueden conectarse, realizar un saludo inicial (HELLO), suscribirse a la telemetría (SUBSCRIBE) y consultar los usuarios conectados (LIST USERS).

- Admin (**ROLE_ADMIN**): los clientes administradores heredan las capacidades del observador y, adicionalmente, pueden autenticarse mediante un token (AUTH ADMIN) para ejecutar comandos de control (COMMAND <acción>).

Capacidades del protocolo:

- **Transmisión periódica de telemetría:** cada cliente suscrito recibe, en intervalos configurados (10 segundos), información del vehículo en formato clave–valor (velocidad, batería, temperatura, dirección y marca temporal).

- **Control remoto mediante comandos:** los administradores pueden modificar parámetros de operación del vehículo (ej. acelerar, frenar, girar).
- **Enumeración de usuarios conectados:** a través del comando LIST USERS se obtiene un listado detallado de los clientes activos, incluyendo dirección IP, rol y tiempo de conexión.
- **Gestión de errores y validaciones:** el protocolo contempla respuestas específicas ante intentos inválidos, como fallas de autenticación, comandos no reconocidos o restricciones operativas (ej. bloqueo por sobrecalentamiento).

4. Formato de los mensajes

Los mensajes del protocolo se definen como líneas de texto terminadas en el carácter de nueva línea (\n). El primer token de cada línea corresponde al **tipo de mensaje** (ej. HELLO, SUBSCRIBE, TELEMETRY, COMMAND, USER…), mientras que los tokens siguientes se utilizan para argumentos o pares **clave=valor**. No se emplean delimitadores adicionales ni longitudes prefijadas, lo que simplifica la implementación y garantiza la compatibilidad entre clientes.

5. Especificación del Servicio

Definimos un conjunto de acciones que permiten a los clientes interactuar con el servidor. Estos servicios se dividen en dos categorías: **solicitudes enviadas por los clientes** y **respuestas emitidas por el servidor**

5.1 (Cliente → Servidor)

Las operaciones habilitadas para los clientes son:

- **HELLO**:Inicia un saludo básico entre el cliente y el servidor.
  - Solicitud: HELLO
  - Respuesta: OK HELLO
- **SUBSCRIBE:** Permite a un cliente suscribirse para recibir telemetría periódica.
  - Solicitud: SUBSCRIBE
  - Respuesta: OK SUBSCRIBED
- **AUTH ADMIN:** Autentica al cliente como administrador mediante un token.
  - Solicitud: AUTH ADMIN <token>
  - Respuestas:
    - OK AUTH ADMIN (éxito)
    - ERROR AUTH bad_token (fallo de autenticación)
- **LIST USERS**: Devuelve el listado de usuarios actualmente conectados al servidor.
  - Solicitud: LIST USERS
  - Respuesta:
    - USERS <n> (donde *n* es el número de usuarios conectados).

        - Posteriormente, una línea por usuario con el formato:
          USER <ip>:<port> <ROL> <connected_at_unix>
- **COMMAND <acción>** *(admin):*Permite enviar instrucciones de control al vehículo autónomo.
    - Solicitud: COMMAND <acción>
    - Acciones válidas: SPEED UP, SLOW DOWN, TURN LEFT, TURN RIGHT
    - Respuesta:
        - OK EXECUTED (ejecución exitosa)
        - ERROR ... (cuando se incumple alguna regla de validación).

5.2 (Servidor → Cliente)

El servidor genera diferentes tipos de mensajes hacia los clientes, entre los que destacan:

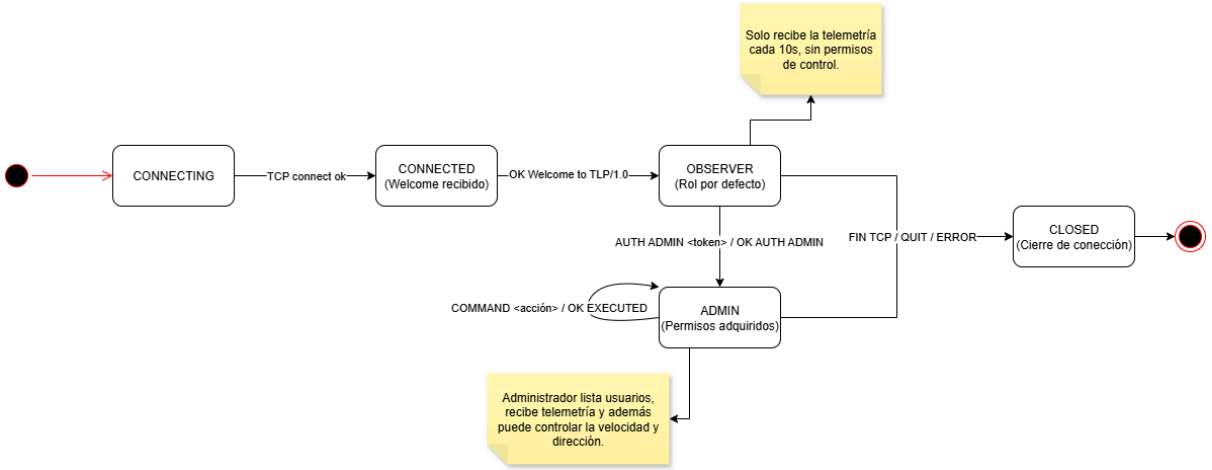
- **TELEMETRY**
  Contiene la información periódica del estado del vehículo.
    - Formato:
        - TELEMETRY speed=<kmh> battery=<pct> temp=<C> dir=<LEFT|RIGHT|STRAIGHT> ts=<epoch>
- **OK:** Confirma la correcta ejecución de una instrucción.

- **ERROR:** Informa al cliente sobre un fallo en la solicitud. Ejemplos:
    - ERROR AUTH bad_token
    - ERROR PERM admin_required
    - ERROR CMD unknown_command
    - ERROR REJECTED overheat

Ejemplo de flujo básico

1. El cliente se conecta al servidor y recibe:
   OK Welcome to TLP/1.0
2. El cliente envía: (por default se suscribe al conectarse)
   SUBSCRIBE
   → Servidor responde: OK SUBSCRIBED
3. Cada 10 segundos el servidor envía:
   TELEMETRY speed=10 battery=95 temp=20 dir=STRAIGHT ts=1759525432

El flujo general de cliente lo podemos representar gráficamente:



6. Reglas del servidor para los controles del administrador

6.1 Reglas para comandos de control

El servidor realiza algunas validaciones antes de aceptar alguna orden del cliente con poderes de administrador.

- SPEED UP se rechaza si:
  - La temperatura excede el umbral de seguridad (≥ 92 °C).
  - El nivel de batería es menor al 10 %.
- SLOW DOWN se rechaza si la velocidad ya es igual a 0 km/h.
- TURN LEFT o TURN RIGHT establecen la dirección solo durante dos ciclos de telemetría, tras lo cual el estado vuelve a STRAIGHT.

6.2 Manejo de errores

El protocolo define mensajes de error estandarizados:

- ERROR AUTH bad_token — token inválido en autenticación.
- ERROR PERM admin_required — intento de comando sin rol administrador.
- ERROR CMD unknown_command — comando no reconocido.
- ERROR REJECTED <razón> — rechazo por regla de negocio (ej. *overheat*, *low_battery*, *already_stopped*).
- ERROR BAD_REQUEST syntax — sintaxis inválida en el mensaje.

6.3 Formato de Mensajes y encabezado

- **Codificación**: ASCII/UTF-8 sin NUL; el servidor **ignora \r** y termina en **\n** .

- **Una línea = un mensaje**. Límite: MAX_LINE = 1024 caracteres.
- **Sintaxis**: comandos con argumentos separados por espacio; telemetría en formato clave=valor.

- El **primer token** (HELLO, SUBSCRIBE, AUTH, LIST, COMMAND, OK, ERROR, TELEMETRY, USERS, USER) funciona como **campo Type**.
- El **segundo token** (si existe) actúa como **subtipo/familia** (ADMIN, PERM, CMD, BAD_REQUEST, REJECTED).

6.4 Reglas o consideraciones extras

- **Límites:** MAX_LINE=1024, MAX_CLIENTS=20.
- **Concurrencia:** un hilo por cliente + 1 hilo de telemetría (broadcast). Locks separados para g_clients y g_state.
- **Caídas de clientes:** al fallar send_line en broadcast o recv_line en el hilo del cliente, el servidor llama remove_client(fd) y libera recursos.

7. Ejemplos de Implementación

A continuación presentamos algunos casos prácticos de ejecución y uso del servidor desarrollado, de esta manera aclaramos su funcionamiento y los distintos escenarios de interacción entre clientes y el servidor. Estos ejemplos permiten observar la estructura de los mensajes, la validación de comandos y el manejo de errores bajo las condiciones establecidas.

- **Ejecución del servidor**

  ```
  $ gcc -pthread -o server servidor.c
  $ ./server 8080 logs.txt
  [2025-10-05 12:00:00] SERVER START port=8080 (socket type:
  SOCK_STREAM/TCP)
  ```

El servidor se compila utilizando **gcc** con soporte para hilos (**-pthread**) y se ejecuta especificando el puerto y el archivo de logs. La salida indica el inicio correcto del servicio.

- **Prueba manual con netcat (Observer)**

  ```
  $ nc 127.0.0.1 8080
  OK Welcome to TLP/1.0
  TELEMETRY speed=10 battery=100 temp=15 dir=STRAIGHT ts=1759525432
  ```

En este caso, un cliente en rol de *Observer* se conecta al servidor mediante **netcat**. Se recibe un mensaje de bienvenida seguido de un flujo de telemetría que incluye velocidad, batería, temperatura, dirección y marca de tiempo.

- **Autenticación y comando (ADMIN)**

  AUTH ADMIN SECRETO_2025
  OK AUTH ADMIN
  COMMAND SPEED UP
  OK EXECUTED
  TELEMETRY speed=15 battery=99 temp=18 dir=STRAIGHT ts=1759525452

Aquí, un cliente solicita autenticarse como *ADMIN* con la clave correspondiente. Una vez validada, se envía un comando para aumentar la velocidad. El servidor confirma la ejecución y emite telemetría actualizada reflejando el cambio.

- **Manejo de errores (Aceleración con temperatura alta)**

  COMMAND SPEED UP
  ERROR REJECTED overheat

En este escenario, el servidor rechaza un comando debido a condiciones inseguras, como el sobrecalentamiento. Esto demuestra la capacidad del sistema para aplicar restricciones y salvaguardas.

- **Listado de usuarios conectados**

  LIST USERS
  USERS 2
  USER 127.0.0.1:49522 ADMIN 1759525400
  USER 127.0.0.1:49530 OBSERVER 1759525415

La consulta de usuarios devuelve un listado con el número de clientes conectados, sus roles y las marcas de tiempo de conexión. Esto permite la gestión y supervisión activa de la sesión.

8. Anexos

8.1 Tabla de comandos

Solicitud	**Respuesta esperada (dependiendo del caso)**
HELLO	OK HELLO
SUBSCRIBE	OK SUBSCRIBE
AUTH ADMIN <token>	OK AUTH ADMIN | ERROR AUTH bad_token
LIST USERS	USERS n + USER …
COMMAND <acción>	OK EXECUTED | ERROR PERM admin_required | ERROR CMD unknown_command | ERROR REJECTED <razón>
QUIT	OK BYE

8.2 Campos de telemetría

Campo	**Descripción**
speed	Velocidad (km/h)
battery	Batería (%)
temp	Temperatura (°C)
dir	Dirección (LEFT/RIGHT/STRAIGHT)
ts	Marca de tiempo UNIX (s)

9. Referencias

- Oracle. (s.f.). *Trail: Creating a GUI With JFC/Swing*. Java Tutorials. https://docs.oracle.com/javase/tutorial/uiswing/examples/concurrency/index.html

- Python Software Foundation. (2025). *tkinter — Python interface to Tcl/Tk*. Python. https://docs.python.org/3/library/tkinter.html

- https://github.com/biraj21/tcp-server/