PANEL DIESEL CONTROLLER HV 2.0

Highlight

- Reemplazo reguladores Woodward EMD / ALCO.
- Ahorro de combustible de hasta un 10%.
- Medición del consumo combustible instantáneo y total.
- Libre mantenimiento.
- Todo el sistema en un solo módulo.
- Sin engranajes ni componentes hidráulicos, ni mecánicos.
- Control de mandos inyección mediante dos motores trifásicos.
- Protección de motores de arranque.
- Compensación por altitud.
- Compensación por presión de sobrealimentación.
- Corrección de inyección mediante factor lambda
- Medición calidad y temperatura del aceite para la protección del motor diésel.
- Protección sensor presión positiva cárter.
- Protección sensor presión de aceite.
- Medición de presión de combustible.
- Medición de presión de agua de refrigeración.
- Cebado y arranque automático desde cabina.
- Control bomba de prelubricación turbocompresor.
- Ralentí económico.
- Diagnóstico y visualización de variables.
- Conexiones mediante Faston.

1. Descripción General

El **Panel Diesel Controller** es un sistema de última generación desarrollado para optimizar el ahorro de combustible, facilitar el mantenimiento preventivo y garantizar la protección integral de componentes críticos como el turbocompresor, los motores de arranque y el motor diésel.

2. Arquitectura de Control y Potencia

- **Actuadores de Mando Directo:** El sistema integra dos motores trifásicos que actúan mediante **mando directo (sin reductores mecánicos)** sobre los controles originales de inyección, lo que simplifica drásticamente el diseño y elimina puntos de desgaste. Equipados con *resolvers* robustos **sin electrónica interna**, tienen la virtud de **soportar temperaturas extremas y vibraciones severas** sin sufrir degradación, conservando los **inyectores originales**.
- **Inversores de Alto Rendimiento:** El control se realiza mediante dos inversores trifásicos de control vectorial de alto rendimiento. Están diseñados específicamente para tolerar altas temperaturas sin necesidad de ventilación forzada, lo que permite su instalación directa en la sala de máquinas junto a los actuadores.

3. Sensores y Monitoreo Avanzado

El sistema reemplaza los componentes mecánicos originales por sensores electrónicos de alta precisión para el monitoreo del motor:

- **Sensor de Temperatura y Calidad de Aceite:** Protege el motor diésel detectando de forma temprana anomalías críticas, como fugas de agua o combustible hacia el cárter.
- **Sensor de Presión Positiva del Cárter:** Un único sensor electrónico dedicado reemplaza el sistema original para monitorear de forma precisa la presión interna del cárter y detectar fallas de estanqueidad o desgaste en los cilindros.
- **Sensor de Presión de Agua del Refrigerante**: Reemplaza al dispositivo mecánico original de baja presión de agua, monitoreando constantemente el circuito de refrigeración para proteger el motor ante pérdidas de presión o fallas en el flujo de refrigerante. Además, su lógica electrónica evita los falsos positivos de baja presión durante el arranque, un problema común en los dispositivos originales que se activan temporalmente mientras el circuito se presuriza.
- **Sondas Lambda Duplicadas:** Dos sensores de banda ancha comprueban continuamente el factor lambda, lo que permite mapear el controlador para una inyección óptima y realizar diagnósticos precisos de inyectores defectuosos.
- **Sensor de Presión de Combustible:** Monitorea el estado del suministro y genera alertas automáticas si la presión desciende por debajo de los niveles normales, indicando la necesidad de revisar los filtros y el sistema de combustible.

4. Gestión del Arranque y Protección del Turbocompresor

- **Arranque Automatizado y Seguro:** El controlador comanda los motores de arranque limitando su tiempo de operación para evitar sobrecargas peligrosas. Además, mide la presión del combustible para presurizar y habilitar automáticamente el encendido con una sola posición del mando de puesta en marcha, permitiendo la operación remota desde la cabina de la locomotora.
- **Protección del Turbocompresor:** El sistema gestiona directamente la bomba de prelubricación del turbo y la bomba de combustible, asegurando el cuidado térmico del turbocompresor y la correcta secuencia del arranque automático.

5. Control Dinámico de RPM y Ralentí

El sistema gestiona de forma inteligente las revoluciones por minuto (RPM) del motor diésel según su estado térmico y operativo:

- **Gestión en Arranque en Frío:** El sistema incrementa automáticamente la velocidad de ralentí nominal. Esto acelera el calentamiento del aceite hasta su temperatura óptima de operación, reduciendo significativamente el desgaste prematuro de los componentes internos por fricción.
- **Gestión en Caliente (Ralentí Económico):** Una vez alcanzada la temperatura de régimen óptima, el controlador reduce y estabiliza el ralentí al mínimo seguro (modo de bajo consumo). Esto maximiza el ahorro de combustible en periodos de espera, reduce las emisiones y mantiene la presión de aceite en niveles ideales de operación.
- **Protección contra Sobrevelocidad:** El controlador integra un **límite electrónico estricto de RPM máximas**. Esto evita que el motor se dispare y **active de forma accidental el dispositivo de sobrevelocidad original** del motor diésel, garantizando una operación continua y sin interrupciones innecesarias.

6. Robustez Eléctrica y Protecciones

El diseño de la arquitectura electrónica del sistema está pensado para tolerar fallas de manipulación humana y mantenimiento en el taller:

- **Protección contra Inversión de Polaridad:** Todas las conexiones de alimentación y señales están protegidas electrónicamente para evitar daños si los cables se conectan de manera invertida.
- **Aislamiento contra Cortocircuitos de Potencia:** El sistema cuenta con protección integrada ante la **conexión accidental de la tensión del circuito de baterías directamente sobre las líneas de los sensores**, impidiendo la destrucción de los componentes electrónicos sensibles en caso de un error en el cableado.

Índice:

7.1 Dimensiones y anclaje……..……..…..pág. 3.

8.1 Descripción funciones terminales de conexión…….……..…pág. 4.

9.1 Valores máximos absolutos ……..…… pág. 5.

10.1 Valores de seguridad……..…..... pág. 6.

11.1 Descripción sistemas…….…….… pág. 7.

11.2 PANEL DIESEL CONTROLLER……..……...…... pág. 7.

11.3 Descripción Servomotores……..…..…... pág. 7.

11.4. Descripción Reóstato de Carga…….…..…... pág. 8.

11.5 Descripción sonda Lambda……..…….…….… pág. 8.

11.6. Descripción Sensor RPM. …….…….…. pág. 9.

11.7 Descripción Sensores Analógicos…….…….. pág. 10.

11.8 Descripción Sensor OIL-TEMP, temperatura y análisis de aceite……..…. pág. 11.

11.9 Comunicación CAN Bus 2 para Módulos Descentralizados (CAN-2)……. pág. 12.

11.10.1 Entradas Digitales…… ……..…..… pág. 12.

11.11.1 Salidas Digitales……..…….…… pág. 12.

12.1Funcionamiento del Sistema……..…..…… pág. 13.

13.1 Pantalla Menú……..……..… pág. 15.

14.1 Alarmas de Alta Prioridad……...…..… pág. 17.

15.1 Alarmas de Baja Prioridad……..……..…… pág. 22.

16.1 Calibración y Puesta a Punto de los Inyectores (CALIB INY)…….… pág. 23.

16.2 Calibración del Gatillo de Sobrevelocidad Mecánica (CALIB Sve) ……..…. pág. 23.

17.1 Configuración de Switches de Terminación de Nodos (Redes CAN Bus)……. pág. 24.

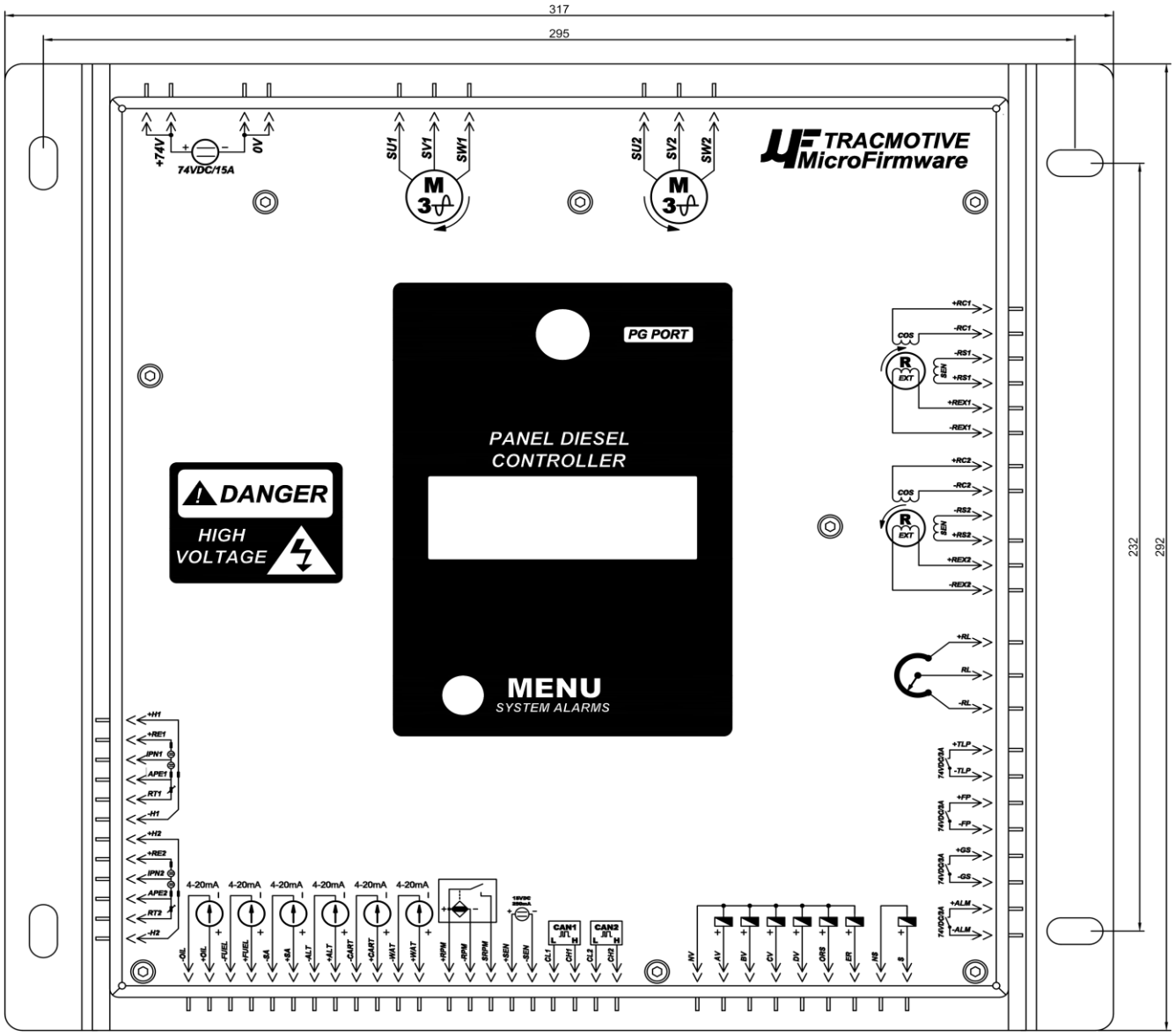
7.1. Dimensiones y anclaje.

Dimensiones del Gabinete:

- **Alto:** 292 mm
- **Ancho:** 317 mm
- **Profundidad:** 65 mm

Sistema de Anclaje:

- El equipo se fija mediante perforaciones roscadas diseñadas para pernos de **¼ de pulgada**.
- Las distancias exactas y la disposición de los centros de fijación se detallan en el **plano a continuación**.



8.1. Descripción funciones terminales de conexión.

- +74V. Alimentación positiva circuito de batería.
- 0V. Alimentación negativa circuito de batería.
- SU1. Alimentación fase U motor servo 1.
- SV1. Alimentación fase V motor servo 1.
- SW1. Alimentación fase W motor servo 1.
- SU2. Alimentación fase U motor servo 2.
- SV2. Alimentación fase V motor servo 2.
- SW2. Alimentación fase W motor servo 2.
- +RC1. Señal coseno positiva del resolver servo 1.
- -RC1. Señal coseno negativa del resolver servo 1.
- +RS1. Señal seno positiva del resolver servo 1.
- -RS1. Señal seno negativa del resolver servo 1.
- +REX1. Alimentación positiva excitación resolver 1.
- -REX1. Alimentación negativa excitación resolver 1.
- +RC2. Señal coseno positiva del resolver servo 2.
- -RC2. Señal coseno negativa del resolver servo 2.
- +RS2. Señal seno positiva del resolver servo 2.
- -RS2. Señal seno negativa del resolver servo 2.
- +REX2. Alimentación positiva excitación resolver 2.
- -REX2. Alimentación negativa excitación resolver 2.
- +RL. Conexión positiva reóstato de carga.
- RL. Conexión central cursor reóstato de carga.
- -RL. Conexión negativa reóstato de carga.
- +TLP. Alimentación comando bomba prelubricación turbocompresor.
- -TLP. Retorno comando bomba prelubricación turbocompresor.
- +FP. Alimentación comando bomba combustible.
- -FP. Retorno comando bomba combustible.
- +GS. Alimentación comando arranque motor diésel.
- -GS. Retorno comando arranque motor diésel.
- +ALM. Alimentación circuito de alarma.
- -ALM. Retorno circuito de alarma.
- +H1. Alimentación positiva calefactor sonda lambda 1.
- +RE1. Señal de la Celda Nernst sonda lambda 1.
- IPN1. Masa virtual sonda lambda 1.
- APE1. Alimentación positiva de la celda de bombeo sonda lambda 1.
- RT1. Resistencia de calibración bombeo sonda lambda 1.
- -H1. Alimentación negativa calefactor sonda lambda 1.
- +H2. Alimentación positiva calefactor sonda lambda 2.
- +RE2. Señal de la celda nernst sonda lambda 2.
- IPN2. Masa virtual sonda lambda 2.
- APE2. Alimentación positiva de la celda de bombeo sonda lambda 2.
- RT2. Resistencia de calibración bombeo sonda lambda 2.
- -H2. Alimentación negativa calefactor sonda lambda 2.
- -OIL. Alimentación negativa sensor presión de aceite.
- +OIL. Alimentación positiva sensor presión de aceite.
- -FUEL. Alimentación negativa sensor presión de combustible.
- +FUEL. Alimentación positiva sensor presión de combustible.
- -SA. Alimentación negativa sensor presión de sobrealimentación.
- +SA. Alimentación positiva sensor presión de sobrealimentación.
- -ALT. Alimentación negativa sensor altitud.
- +ALT. Alimentación positiva sensor altitud.
- -CART. Alimentación negativa sensor presión positiva cárter.
- +CART. Alimentación positiva sensor presión positiva cárter.
- -WAT. Alimentación negativa sensor presión agua refrigerante.
- +WAT. Alimentación positiva sensor presión agua refrigerante.
- +RPM. Alimentación positiva sensor RPM.
- -RPM. Alimentación negativa sensor RPM.
- SRPM. Señal alta sensor RPM.
- +SEN. Alimentación positiva auxiliar sensores (sensor CAN BUS calidad y temperatura aceite).
- -SEN. Alimentación negativa auxiliares (sensor CAN BUS calidad y temperatura aceite).
- CL1. Canal L de CAN bus de alta prioridad sensor de calidad y temperatura de aceite.
- CH1. Canal H de CAN bus de alta prioridad sensor de calidad y temperatura de aceite.
- CL2. Canal L de CAN bus baja prioridad para comunicación con PANEL HMI, PANEL PT100 y PANEL GP CONTROLLER (opcionales).
- CH2. Canal H de CAN bus baja prioridad para comunicación con PANEL HMI, PANEL PT100 y PANEL GP CONTROLLER (opcionales).
- NV. Alimentación negativa control de bobinas aceleración y ORS.
- AV. Alimentación positiva control bobina A de aceleración.
- BV. Alimentación positiva control bobina B de aceleración.
- CV. Alimentación positiva control bobina C de aceleración.
- DV. Alimentación positiva control bobina D de aceleración y parada motor diésel.
- ORS. Alimentación positiva control bobina ORS de reducción de excitación.
- NER. Alimentación negativa control relé de aceleración.
- ER. Alimentación positiva control relé de aceleración.
- NS. Alimentación negativa control arranque motor diésel.
- S. Alimentación positiva control arranque motor diésel.

9.1. Valores máximos absolutos

Circuitos	Terminales	Mínimo	Máximo	Protección	Aislamiento Galvánico
Alimentación	+74V, 0V			Fusible interno	1000Vdc
Voltaje		-160Vdc	160Vdc		
Intensidad		-6Adc	6Adc		
Entradas Digitales	NV, AV, BV, CV, DV, ORS, ER, NS, S			Tiempo indefinido	1000Vdc
Voltaje		-160Vdc	160Vdc		
Intensidad		-40mAdc	40mAdc		
Salidas Digitales	+/-TLP, +/-FP, +/-GS, +/-ALM			Fusible interno	1000Vdc
Voltaje		-160Vdc	160Vdc		
Intensidad		-5Adc	5Adc		
Salidas Potencia Servos	SU1/2, SV1/2, SW1/2			Tiempo indefinido	1000Vdc
Voltaje		-160Vdc	160Vdc		
Intensidad		-5Adc	5Adc		
Resolver Servos	+/-RC1/2, +/-RS1/2, +/-REX1/2			Tiempo indefinido	1000Vdc
Voltaje		-160Vdc	160Vdc		
Intensidad		-200mA	200mA		
Entradas Analógicas	+/-OIL, +/-FUEL, +/-SA, +/-ALT, +/-CART, +/-WAT			Tiempo indefinido	1000Vdc
Voltaje		-160Vdc	160Vdc		
Intensidad		-200mA	200mA		
Sensor RPM	+/-RPM, SRPM			Tiempo indefinido	1000Vdc
Voltaje		-160Vdc	160Vdc		
Intensidad		-200mA	200mA		
Alimentación Auxiliar	+/-SEN			Tiempo indefinido	1000Vdc
Voltaje		-160Vdc	160Vdc		
Intensidad		-200mA	200mA		
CAN Bus	CL1/2, CH1/2			Tiempo indefinido	1000Vdc
Voltaje		-160Vdc	160Vdc		
Intensidad		-200mA	200mA		
Reóstato de Carga	+/-RL, RL			Protección externa	1000Vdc
Voltaje		-160Vdc	160Vdc		
Intensidad		-5Adc	5Adc		
Sondas lambdas	+H1/2, +RE1/2, IPN1/2, APE1/2, RT1/2, -H1/2	0V	26Vdc	No corresponde	1000Vdc

10.1. Valores de seguridad

Circuitos	Terminales	Mínimo	Máximo
Alimentación	+74V, 0V		
Voltaje		8,5Vdc	90Vdc
Intensidad		200mA	6A
Entradas Digitales	NV, AV, BV, CV, DV, ORS, ER, NS, S		
ON Voltaje		60Vdc	90Vdc
ON Intensidad		8mAdc	13mAdc
Histéresis		1mA	
Exclusivo NS/S	NS, S		
ON Voltaje		8,5Vdc	90Vdc
ON Intensidad		1mAdc	13mAdc
Histéresis		0,5mAdc	
Salidas Digitales	+/-TLP, +/-FP, +/-GS, +/-ALM	0Adc	5Adc
Salidas Potencia Servos	SU1/2, SV1/2, SW1/2		
Voltaje		0Vac RMS	36Vac RMS
Intensidad		0Aac	3Aac RMS
Resolver Servos	+/-RC1/2, +/-RS1/2, +/-REX1/2		
Frecuencia		10KHz	10KHz
Seno/Coseno		11Vpp	19Vpp
Excitación Voltaje		5,5Vpp	9,5Vpp
Excitación Intensidad		27mA RMS	64mA RMS
Entradas Analógicas	+/-OIL, +/-FUEL, +/-SA, +/-ALT, +/-CART, +/-WAT		
Voltaje		9Vdc	17Vdc
Intensidad		4mAdc	20mAdc
Sensor RPM	+/-RPM, SRPM		
Alimentación Voltaje		14Vdc	17Vdc
Alimentación Intensidad		20mAdc	28mAdc
Señal ON Voltaje		9Vdc	90Vdc
Señal ON Intensidad		2mAdc	23mA
Histéresis		0,5mAdc	
Alimentación Auxiliar	+/-SEN		
Voltaje		14Vdc	17Vdc
Intensidad		0mAdc	80mAdc
CAN Bus	CL1/2, CH1/2		
Frecuencia		20Kbps	20Kbps
Voltaje		0,5Vpp	4,5Vpp
Reóstato de Carga	+/-RL, RL		
Voltaje		0Vdc	90Vdc
Intensidad		0Adc	5Adc
Sondas lambdas	+H1/2, +RE1/2, IPN1/2, APE1/2, RT1/2, -H1/2	0V	16Vdc

11.1. Descripción sistemas.

11.2. PANEL DIESEL CONTROLLER.

El Panel Diesel Controller destaca por su diseño altamente centralizado, donde toda la arquitectura tecnológica se unifica en un único módulo integrado. Este gabinete monolítico aloja de forma interna las siguientes etapas fundamentales del sistema:

• Sistema de Control y Procesamiento: Centraliza los algoritmos inteligentes de inyección, la gestión de alertas y las lógicas de protección del motor.

• Etapa de Potencia: Incorpora directamente los inversores vectoriales trifásicos encargados de accionar los servomotores de los bancos de inyección.

• Procesamiento de Señales: Concentra el filtrado, acondicionamiento y lectura de alta precisión de todos los sensores electrónicos y sondas lambda.

• Módulo de Comunicación: Integra las interfaces necesarias para la telemetría, el diagnóstico y el enlace de datos con la cabina de la locomotora.

Esta integración total elimina la necesidad de interconexiones o cableados externos complejos entre diferentes tarjetas electrónicas, aumentando drásticamente la confiabilidad del sistema ante las vibraciones y simplificando las tareas de instalación y mantenimiento.

Robustez de Interconexión y Alta Confiabilidad.

Con el objetivo de maximizar la vida útil del equipo en ambientes ferroviarios severos, el módulo ha sido diseñado completamente libre de peines de conexión internos.

• Eliminación de Puntos Críticos de Falla: Al prescindir de conectores de pines tradicionales (que con el tiempo sufren fatiga mecánica por vibración continua), se erradica por completo el riesgo de falsos contactos o la apertura accidental de lazos de control en los circuitos.

• Conexiones Directas y Seguras: Todas las uniones internas de señales y potencia se realizan mediante métodos de fijación permanentes o mecánicamente inmunes a la vibración, garantizando la continuidad eléctrica permanente y un funcionamiento ininterrumpido del sistema de inyección.

Resistencia Térmica y Emplazamiento.

El módulo ha sido desarrollado bajo estrictos estándares de ingeniería para operar de forma confiable en entornos térmicamente exigentes:

• Diseño para Altas Temperaturas: Los componentes electrónicos y la estructura del gabinete están calculados para soportar condiciones de calor extremo continuo, garantizando una disipación eficiente sin necesidad de ventilación forzada o aberturas que permitan el ingreso de contaminantes.

• Instalación Directa en la Sala de Máquinas: Gracias a esta inmunidad térmica y a su robusto sellado, el módulo puede ser instalado directamente en la sala de máquinas de la locomotora. Esto permite optimizar el espacio y acortar la longitud del cableado hacia los sensores y los actuadores de inyección, reduciendo el ruido electromagnético.

Transparencia de Medición y Conectividad Externa.

El sistema rompe con el esquema tradicional de bloques de terminales ocultos o conectores multipolo sellados, los cuales suelen dificultar las tareas de diagnóstico eléctrico en el taller:

• Puntos de Conexión Tipo Faston: Todas las conexiones externas de señales y control utilizan terminales tipo Faston expuestos.

• Transparencia de Medición en Tiempo Real: Este diseño permite a los técnicos e ingenieros acceder de manera directa, visual y segura a los puntos eléctricos activos. Se pueden realizar mediciones de voltaje, corriente o continuidad con el multímetro de forma inmediata y sin necesidad de desconectar el cableado ni desarmar el módulo.

• Ventaja sobre Borneras Ocultas: Elimina por completo el problema clásico de las borneras ciegas o enchufes herméticos donde los puntos de prueba quedan inaccesibles, acelerando drásticamente los tiempos de localización de fallas y mantenimiento preventivo.

Interfaz de Usuario y Diagnóstico Local (Display).

Para facilitar el monitoreo en el sitio y agilizar la toma de decisiones, el módulo incorpora un display digital integrado en su panel frontal:

• Visualización de Variables en Tiempo Real: Permite supervisar de forma continua los parámetros operativos críticos del motor diésel, tales como la presión de combustible, la temperatura y calidad del aceite, el factor lambda de ambos bancos y la presión de agua del refrigerante.

• Gestión Centralizada de Alarmas: Ante cualquier anomalía (como baja presión de combustible o riesgo de fugas en el cárter), el display muestra la alerta de forma inmediata, permitiendo al personal actuar antes de que ocurra un daño mayor o una parada imprevista.

• Diagnóstico Autónomo: Facilita la detección de fallas específicas - como un inyector defectuoso a través de las sondas lambda de banda ancha-directamente en la sala de máquinas, eliminando la necesidad de conectar herramientas de escaneo externas o computadoras adicionales.

11.3 Descripción Servomotores.

El control preciso de la inyección de combustible se realiza mediante dos servomotores trifásicos libres de mantenimiento. Para asegurar una actuación directa y simétrica, los servomotores están alojados de forma independiente, ubicando uno en cada banco del motor diésel y acoplados mediante soportes robustos a los mandos originales de la locomotora.

Las características fundamentales de estos motores incluyen:

• Tecnología Sincrónica: Son motores del tipo sincrónico de 20 polos con rotor de imanes permanentes, excitados dinámicamente por el controlador principal.

• Alta Resistencia a Vibraciones: Al ser motores sin escobillas (Brushless) y carecer de electrónica interna o elementos de rozamiento, ofrecen una tolerancia extrema a las vibraciones severas de la sala de máquinas.

• Retroalimentación por Resolver: La posición angular del eje es reflejada en tiempo real al sistema mediante un Resolver absoluto integrado.

• Conservación de Componentes Originales: Su diseño y distribución por banco permiten actuar directamente sobre los ejes originales de aceleración, garantizando la conservación de los inyectores de fábrica de la locomotora.

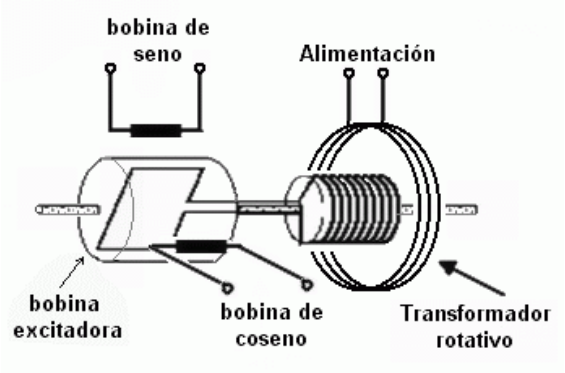
Principio de Operación del Resolver Absoluto

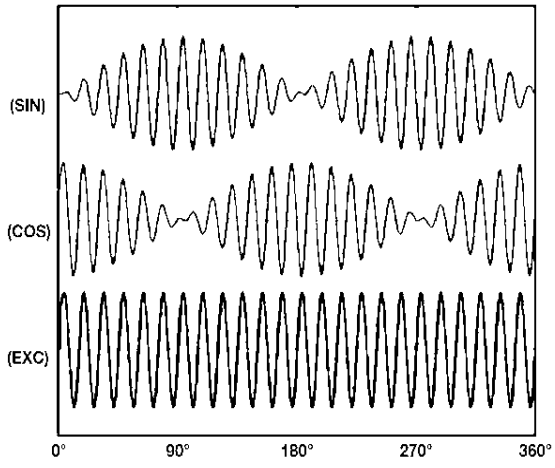
El Resolver absoluto funciona como un transformador inductivo rotatorio de alta confiabilidad:

1. Bobina de Excitación: Aloja una bobina de excitación solidaria al eje (rotor) que es alimentada desde el controlador con una tensión sinusoidal típica de 7.5 Vpp, una intensidad de 37 mA rms y una frecuencia de 10 kHz.

2. Bobinas del Estátor: El rotor induce voltaje en dos bobinas fijas alojadas en el estátor (llamadas bobina Seno y bobina Coseno), las cuales están desfasadas mecánicamente 90° entre sí.

3. Procesamiento de Posición: Dependiendo de la posición angular del eje, las bobinas del estátor proyectan diferentes amplitudes de voltaje basadas en una relación de transformación de 2. El sistema procesa analíticamente estas tensiones para determinar la posición exacta del mando de inyección de cada banco.





Asimismo, la robustez electrónica de esta etapa se eleva a estándares de seguridad crítica debido a que la totalidad de las líneas del lazo del resolver abarcando tanto las señales de lectura Seno y Coseno del estátor como las salidas de excitación hacia el rotor admiten de forma integral errores de conexión e inversión de polaridad de hasta +/- 160 Vdc, lo que proporciona un blindaje excepcional que impide por completo la destrucción de las etapas de potencia y de entrada analógica del controlador ante contactos accidentales con las altas tensiones de los circuitos de la locomotora durante las tareas de cableado o mantenimiento en el taller.

Conexiones Motor	
Panel Diesel Controller	**Motor**
SUX	**U**
SVX	**V**
SWX	**W**
Conexiones Resolver	
Panel Diesel Controller	**Resolver**
+RCX	**Blanco**
-RCX	**Marron**
-RSX	**Amarillo**
+RSX	**Verde**
+REXX	**Rojo**
-REXX	**Azul**

11.4. Descripción Reóstato de Carga.

El sistema incorpora un innovador reóstato de carga desarrollado con tecnología de estado sólido que tiene como función principal gestionar y limitar de forma precisa la máxima excitación de la locomotora en circuitos originales, operando mediante semiconductores de potencia que realizan el control de manera continua, lineal y libre de los saltos bruscos propios de los sistemas mecánicos tradicionales.

Para garantizar una integración transparente y segura sin requerir modificaciones complejas en el cableado original, cuenta con una polarización idéntica a la del sistema de excitación original de la locomotora, permitiendo que el controlador se intercale directamente en el lazo existente. Asimismo, la seguridad eléctrica del dispositivo se encuentra garantizada de forma intrínseca debido a que su protección de corriente está limitada de manera natural por las propias resistencias y circuitos de excitación original de la locomotora, asegurando que la intensidad máxima circulante se mantenga en rangos seguros y controlados que generalmente no superan los 2 A, lo cual evita el estrés térmico en los componentes y prolonga la vida útil de toda la etapa de potencia. No obstante, para aquellas locomotoras equipadas con generadores de la clase dinamo, tales como el modelo tipo D25, es necesario consultar las especificaciones de nuestro **Panel Driver GP**, un desarrollo específico diseñado para cubrir las exigencias y los menesteres de alta potencia requeridos por este tipo de generadores.

Cabe destacar que, en el caso de que el **Panel Diesel Controller** se encuentre integrado directamente con nuestro **Panel GP CONTROLLER** (control de excitación), el reóstato de estado sólido local queda anulado y deja de ser utilizado, delegando y transmitiendo de forma inteligente toda la lógica de limitación de carga a través del bus de comunicación CAN BUS.

11.5. Descripción sonda Lambda.

El sistema está equipado con dos canales independientes para sondas lambda de banda ancha (tipo Wideband), una arquitectura de diagnóstico y control desarrollada específicamente para adaptarse con total

flexibilidad a la configuración del sistema de escape de cada locomotora. A diferencia de las sondas binarias convencionales, estos sensores de banda ancha miden con total precisión la relación aire-combustible exacta en todo el rango de operación del motor diésel. Esta duplicidad de canales permite que el controlador monitoree de manera simultánea y separada las emisiones de los gases de combustión sin importar la distribución física de las salidas de escape, adaptándose eficientemente tanto a colectores comunes como a conductos independientes por banco de cilindros.

Para garantizar la máxima precisión en las lecturas, evitar lecturas erróneas y prolongar la vida útil de los componentes ante las severas condiciones del motor, el proceso se ejecuta de manera secuencial a través de tres fases estrictas: una etapa inicial de calibración automática donde se establecen los valores de referencia del sensor, una etapa posterior de calentamiento controlado que eleva de forma progresiva la temperatura de la celda de medición para resguardar la cerámica interna y evitar choques térmicos por condensación de agua en el escape, y finalmente la etapa de medición activa, en la cual el controlador procesa los datos de oxígeno en tiempo real para mapear dinámicamente la inyección y diagnosticar con exactitud inyectores defectuosos.

Conexiones Sonda Lambda	
Panel Diesel Controller	Sonda
+HX	Blanco
+REX	Negro
IPNX	Amarillo
APEX	Rojo
RTX	Verde
-HX	Gris

11.6. Descripción Sensor RPM.

El sistema incorpora un sensor inductivo de tres hilos sin contacto mecánico que garantiza una lectura precisa y completamente inmune al desgaste, el cual se aloja de manera muy robusta y protegida en la tapa de inspección del gatillo de sobrevelocidad mediante una fijación roscada para leer la velocidad de giro directamente desde el contrapeso de uno de los árboles de levas de la locomotora.

La conectividad eléctrica del dispositivo se distribuye estrictamente en dos hilos dedicados a la alimentación (+RPM y -RPM) de 15Vdc – 30% y un tercer hilo exclusivo para la transmisión de la señal (SRMP), contando de forma integrada con una limitación electrónica contra cortocircuitos parametrizada a un máximo de 80 mA para resguardar la integridad del controlador principal. Asimismo, el software implementa una lógica de seguridad intrínseca por la cual el motor diésel se detendrá inmediatamente en caso de detectarse cualquier fallo en el componente o si el mismo llega a ser desconectado, asegurando una protección total ante la pérdida de sincronismo y evitando de forma electrónica que el motor se dispare y active por accidente el dispositivo mecánico de sobrevelocidad original de la locomotora.

Instalación.

La correcta instalación del sensor inductivo de gama alta Turck BI10U-M18-AP6X-H1141 requiere una preparación mecánica sobre la tapa de inspección del gatillo de sobrevelocidad de la locomotora, en la cual se debe realizar un marcado orientando el centro del mecanizado estrictamente en la parte superior de la pieza, posicionándolo a las 12 en punto según la analogía del reloj y a una distancia radial de 110 mm con una tolerancia de +/- 1 mm

respecto al centro geométrico de dicha tapa. En ese punto específico orientado al cenit, se procede a perforar el material utilizando una broca de 17 mm de diámetro para posteriormente labrar la rosca métrica correspondiente mediante un macho de roscar de M18 × 1.

Una vez acondicionada mecánicamente la tapa y montada en su lugar, se gira manualmente el motor hasta posicionar el contrapeso del árbol de levas perfectamente enfrentado con el orificio, introduciendo el sensor hacia la derecha hasta que su cara activa haga un tope físico suave contra la superficie del contrapeso, para luego desenroscarlo exactamente cinco vueltas completas hacia la izquierda a fin de establecer la separación de entrehierro (gap) óptima para una lectura de un pulso por revolución.

Para finalizar la calibración y garantizar que las vibraciones extremas de la sala de máquinas no alteren la distancia, se debe ajustar la contratuerca contra el cuerpo de la tapa de inspección aplicando un par de apriete máximo de 10 Nm, bloqueando mecánicamente el conjunto de manera definitiva sin sobrepasar el límite de torsión recomendado para proteger la estructura del componente.

Conexiones Sensor RPM	
Panel Diesel Controller	Sensor
+RPM	1- Marron
-RPM	3- Azul
SRPM	4- Negro

11.7. Descripción Sensores Analógicos.

El sistema implementa una red de sensores analógicos basados en el estándar industrial de lazo de corriente de dos hilos con una escala de 4-20 mA, donde un valor de 4 mA representa estrictamente la medición equivalente a cero y una intensidad de 20 mA se corresponde de manera lineal con la máxima magnitud física de la escala parametrizada para cada variable del motor diésel. Para garantizar una inmunidad total al ruido electromagnético y evitar fallas por interferencias cruzadas en la sala de máquinas de la locomotora, cada canal de lectura del Panel Diesel Controller está equipado de forma independiente con su propia fuente exclusiva de alimentación regulada de 15 Vcc, la cual posee una tolerancia dinámica de hasta un -30% calculada según la demanda de carga específica del dispositivo conectado, limitando electrónicamente la intensidad máxima de corriente a solo 35 mA en caso de producirse un cortocircuito directo en las líneas. Asimismo, la robustez del hardware se eleva a estándares de seguridad crítica debido a que todos los canales admiten de forma integral errores de conexión e inversión de polaridad de hasta +/-160 Vcc, un blindaje electrónico excepcional que impide la destrucción de las etapas de procesamiento sensible ante contactos accidentales con las altas tensiones de los circuitos de potencia y resguarda por completo la operatividad del módulo principal durante los trabajos de mantenimiento en el taller. Complementando esta infraestructura de protección, el Panel Diesel Controller incorpora una aislación galvánica total de 1000 Vcc, lo que separa físicamente las etapas de baja potencia y procesamiento de los circuitos de fuerza y chasis de la locomotora, bloqueando de manera absoluta el paso de ruidos de conmutación severos,

bucles de masa (ground loops) o descargas de alta tensión que pudiesen comprometer la estabilidad del firmware o dañar los componentes electrónicos del sistema.

11.7.1. Descripción Sensor Analógicos OIL, presión de aceite.

Para la supervisión del circuito de lubricación principal del motor diésel, el sistema utiliza un transmisor de presión industrial WIKA Modelo A-10 (Referencia 12719260) con escala calibrada de 0 a 10 bar y salida analógica de 4 a 20 mA. Su conexión eléctrica se realiza directamente al módulo mediante un cable de par trenzado de 0.5 mm^2 de sección destinado a los terminales +OIL y -OIL. Mecánicamente, su conexión hidráulica se ejecuta de forma obligatoria mediante una pieza en "T" intercalada en la línea del manómetro de presión de aceite de la sala de máquinas, siendo este el punto crítico y fidedigno para capturar la presión real que reciben los componentes internos del motor diésel y la misma línea del regulador de velocidad original.

Derivación T:

Entrada Macho: ¼" NPT.

Salida Hembra: ¼" NPT.

Salida Hembra: ¼" NPT.

Adaptador de Rosca de Macho ¼" NPT a Hembra G ¼" (¼" BSPP) con asiento plano.

11.7.2. Descripción Sensor Analógicos FUEL, presión de combustible.

Para el monitoreo del suministro de carburante, el sistema emplea el transmisor de presión industrial WIKA Modelo A-10 (Referencia 12719391), el cual cuenta con un rango de medición de 0 a 6 bar y salida analógica de 4 a 20 mA. Su instalación eléctrica se realiza de forma directa hacia el controlador principal a través de un cable de par trenzado de 0.5 mm^2 de sección, conectándose firmemente a las borneras identificadas como +FUEL y -FUEL. En el plano mecánico, este dispositivo se conecta obligatoriamente mediante T en la cañería ubicada luego de los filtros secundarios de combustible, un punto estratégico que permite al firmware diagnosticar de forma inmediata la saturación de los elementos filtrantes o caídas críticas en la presión de alimentación del motor diésel.

Derivación T:

Entrada Macho: ¼" NPT.

Salida Hembra: ¼" NPT.

Salida Hembra: ¼" NPT.

Adaptador de Rosca de Macho ¼" NPT a Hembra G ¼" (¼" BSPP) con asiento plano.

11.7.3. Descripción Sensor Analógicos SA, presión de sobrealimentación.

Para el monitoreo de la presión aire de admisión, el equipo utiliza el transmisor de presión industrial WIKA Modelo A-10 (Referencia 12719391), con un rango de medición de 0 a 6 bar y salida analógica de 4 a 20 mA. Su instalación eléctrica se realiza de forma directa hacia el controlador principal empleando un cable de par trenzado de 0.5 mm^2 de sección, conectándose estrictamente a las borneras identificadas como +SA y -SA. En el plano mecánico, la conexión se ejecuta acoplando el dispositivo directamente en un orificio lateral existente en una de las cámaras de aire del motor diésel, una ubicación estructural idónea que permite al firmware medir la presión de soplado real con total precisión para optimizar el mapa de inyección tanto en modelos turboalimentados como en configuraciones equipadas con sopladores mecánicos tipo Roots.

Adaptador de Macho de ¾" NPT a Hembra de G ¼" (¼" BSPP) con asiento plano interno.

11.7.4. Descripción Sensor Analógicos ALT, presión de altitud.

Para compensar dinámicamente las variaciones de altitud y la presión atmosférica, el sistema utiliza un transmisor de presión absoluta WIKA Modelo A-10, con un rango de medición de 0 a 1 bar y salida analógica de 4 a 20 mA. Su instalación eléctrica se realiza de forma directa hacia el controlador principal empleando un cable de par trenzado de 0.5 mm^2 de sección, conectándose estrictamente a las borneras identificadas como +ALT y -ALT. En el plano mecánico, este dispositivo no requiere conexión hidráulica a ninguna tubería del motor diésel; se instala fijado en un punto limpio y protegido de la sala de máquinas expuesto a la atmósfera ambiente, permitiendo al firmware medir la presión barométrica absoluta en tiempo real para corregir los mapas de inyección y optimizar la mezcla según la altura geográfica por la que transita la locomotora.

11.7.5. Descripción Sensor Analógicos CART, presión positiva de cárter.

Para supervisar la estanqueidad interna del motor diésel y detectar de manera temprana desgastes críticos en los cilindros o fugas de compresión por soplado excesivo (blow-by), el sistema utiliza el transmisor de presión industrial de alta sensibilidad WIKA Modelo A-10 (Referencia 14193278), un dispositivo diseñado para el control de presiones muy bajas que opera en una escala calibrada de 0 a 50 mbar con una salida analógica de 4 a 20mA. Su instalación eléctrica se ejecuta de manera directa hacia el controlador principal empleando un cable de par trenzado de 0.5 mm^2 de sección, conectándose estrictamente a las borneras identificadas como +CART y -CART. En el plano mecánico, el obsoleto dispositivo original de baja presión de agua y presión positiva del cárter es removido por completo; en su lugar, se instala una tapa ciega de acero mecanizada a medida, provista de su respectiva junta de estanqueidad y un orificio roscado central que permite la fijación directa del sensor al bloque, asegurando un acoplamiento robusto y hermético que elimina cualquier posibilidad de fuga o lectura errónea debido a vibraciones estructurales.

11.7.6. Descripción Sensor Analógicos WAT, presión de agua refrigerante.

Para el monitoreo constante del circuito de refrigeración y la prevención de fallas por cavitación o pérdida de líquido, el sistema emplea el transmisor de presión industrial WIKA Modelo A-10 (Referencia 12719391), el cual cuenta con un rango de medición de 0 a 6 bar y salida analógica de 4 a 20 mA. Su instalación eléctrica se realiza de forma directa hacia el controlador principal empleando un cable de par trenzado de 0.5 mm^2 de sección, conectándose estrictamente a las borneras identificadas como +WAT y -WAT. En el plano mecánico, el sensor se instala aprovechando la infraestructura de fábrica de la locomotora, montándose mediante un adaptador roscado directamente a la salida de la llave de prueba original ubicada en la propia descarga de la bomba de agua del motor diésel. Este emplazamiento estratégico permite capturar la presión real de régimen de manera directa y limpia, asegurando que el firmware reciba lecturas fidedignas para la lógica que anula los falsos positivos durante la puesta en marcha, además de permitir al personal de mantenimiento realizar la prueba original de actuación de baja presión de agua de forma segura

manipulando la misma llave para verificar la respuesta del sistema de protección del controlador.

11.8. Descripción Sensor OIL-TEMP, temperatura y análisis de aceite.

Para la evaluación fisicoquímica predictiva y el control térmico del lubricante en tiempo real, el sistema incorpora un sensor inteligente con interfaz de comunicación digital que se vincula al Panel Diesel Controller a través de un puerto CAN Bus exclusivo de alta prioridad, aislando esta red de diagnóstico crítico del resto del tráfico de datos de la locomotora para asegurar un tiempo de respuesta inmediato. En el plano mecánico, este dispositivo se instala aprovechando la ingeniería estructural existente al remover la antigua válvula termostática de temperatura de aceite y montar el sensor en esa misma cavidad del bloque, utilizando un adaptador específico que sitúa su elemento de medición en contacto directo con el flujo principal de lubricante. Su instalación eléctrica y codificación por colores se realiza de forma estricta y dedicada conectando el hilo rojo a la bornera +SEN (+15 Vcc), el hilo azul a -SEN (0 V), el hilo amarillo a CL1 (CAN 1 L) y el hilo verde a CH1 (CAN 1 H), contando este puerto con su propia fuente de alimentación exclusiva de 15 Vcc con una limitación electrónica contra cortocircuitos parametrizada a un máximo de 80 mA. Adicionalmente, el Panel Diesel Controller admite de forma integral errores de conexión e inversión de polaridad de hasta +/-160 Vcc tanto en las líneas de datos CAN_H y CAN_L como en sus líneas de alimentación, un blindaje electrónico de alta prioridad que impide por completo la destrucción de los transceptores digitales ante contactos accidentales en el taller, permitiendo al firmware capturar de forma continua la temperatura del aceite, su degradación y su constante dieléctrica desde el núcleo térmico del motor diésel para optimizar la inyección y prevenir fallas catastróficas.

Además de la medición de la temperatura del aceite, el sensor utiliza una tecnología patentada llamada FSH™ (Full Spectrum Holistic). Esta tecnología analiza las propiedades electroquímicas del aceite en tiempo real a nivel molecular, midiendo los cambios en la constante dieléctrica y la pérdida de energía (factor de disipación o Tan Delta).

Gracias a esto, el dispositivo puede identificar:

• Presencia de agua.

• Presencia de combustible / refrigerante.

• Ácidos, partículas de desgaste y variaciones en la viscosidad.

11.9. Comunicación CAN Bus 2 para Módulos Descentralizados (CAN-2)

Para la expansión del sistema y el enlace con periféricos distribuidos, el Panel Diesel Controller incorpora un segundo puerto digital denominado CAN Bus 2 de baja prioridad, cuyas líneas físicas se encuentran identificadas en la regleta de conexiones mediante las borneras de datos dedicadas C2L (CAN 2 Low) y C2H (CAN 2 High). Siguiendo la exigente filosofía de robustez del hardware central, este segundo puerto mantiene un blindaje total al admitir errores de conexión e inversión de polaridad de hasta +/-160 Vcc en la totalidad de sus líneas, impidiendo averías electrónicas por fallas humanas durante el mantenimiento en el taller. Este bus permite vincular el controlador principal de forma directa con los siguientes módulos descentralizados de nuestra familia de productos:

• Panel GP Controller (Control de Excitación): Establece una comunicación digital dedicada para transmitir y coordinar los valores de control del reóstato de carga de estado sólido y los parámetros de velocidad en tiempo real (RPM), garantizando una regulación armónica de la potencia y el campo magnético en aquellas locomotoras equipadas con generadores de la clase dinamo.

• Panel PT100 (Control de Temperatura): Procesa de forma centralizada las lecturas térmicas del motor diésel para ejecutar un control predictivo avanzado, anticipando la reducción de carga antes de la entrada en funcionamiento de los electroventiladores e implementando una limitación automática de potencia que resguarda la integridad mecánica de la locomotora al anteponerse activamente a escenarios de alta temperatura.

• Panel HMI (HMI Gráfico de 7 pulgadas): Interfaz instalada en el pupitre del conductor que centraliza la visualización y el registro exhaustivo de alarmas con marca de fecha, hora y posicionamiento geográfico satelital (GPS). Actúa como una potente herramienta de búsqueda de fallas al desplegar gráficas de potencia y múltiples variables simultáneas para un diagnóstico preciso en el campo, facilitando además la extracción local del historial operativo mediante una bajada de datos directa por puerto USB.

11.10.1. Entradas Digitales.

Para garantizar una inmunidad total ante los severos transitorios eléctricos y fallas de cableado comunes en el entorno ferroviario, el Panel Diesel Controller implementa un estándar de protección crítica en todas sus interfaces de conmutación. Siguiendo la exigente filosofía de diseño del hardware principal, la totalidad de las entradas digitales admiten de forma integral errores de conexión, inversión de polaridad y sobretensiones continuas de hasta +/-160 Vdc. Este blindaje electrónico de alta resistencia asegura que, ante un contacto accidental con las líneas vivas de alta potencia o durante picos inductivos generados por los contactores de la locomotora, los circuitos de procesamiento digital permanezcan completamente aislados y protegidos, erradicando la posibilidad de averías en el microcontrolador y garantizando la continuidad operativa del sistema en el campo.

11.10.2. Entradas Digitales AV, BV, CV y DV.

El módulo incorpora cuatro canales digitales de conmutación destinados a interpretar las órdenes de marcha y detención provenientes del comando de la locomotora, los cuales se encuentran identificados en la regleta de terminales bajo las nomenclaturas AV, BV, CV y DV, correspondiendo estrictamente a las señales estandarizadas de aceleración y parada de la arquitectura ferroviaria convencional. Para evitar lecturas erróneas causadas por voltajes parásitos o caídas de tensión en el cableado antiguo del vehículo, el umbral de disparo del hardware está calibrado con una alta inmunidad al ruido, exigiendo un estado de activación con una tensión mínima de 60 Vdc y una corriente de lazo de 8 mA para registrar un cambio lógico de estado.

11.10.3. Entradas Digital ORS.

El sistema dispone de una entrada digital específica identificada en la bornera de conexiones como ORS (Override Solenoid), la cual está diseñada para integrarse con los sistemas de protección externos y la lógica de seguridad nativa de la locomotora. Al recibir una señal activa, esta entrada emula de forma precisa el comportamiento de los reguladores de velocidad convencionales, obligando al controlador a disminuir de manera inmediata la excitación del reóstato de carga de estado sólido para aliviar la demanda sobre el generador principal.

Manteniendo los estándares de alta inmunidad al ruido del módulo, sus umbrales de activación son idénticos a los de los canales de aceleración, requiriendo un voltaje mínimo de 60 Vdc y una corriente de lazo de 8 mA para registrar el cambio de estado.

11.10.4. Entradas Digital ER.

El módulo incorpora una entrada digital de control lógico identificada en la bornera de conexiones mediante las siglas ER (Engine Run), la cual está destinada de forma exclusiva a coordinar el retorno del motor diésel a su régimen de ralentí normal de 330 RPM. A través de este canal de conmutación pesado, el firmware sensa y valida de manera continua la presencia de las señales de aceleración activas de los Puntos 1 al 8 ; de esta forma, al detectarse la desactivación de los puntos de tracción, el controlador anula de forma segura cualquier estado de ralentí económico para restablecer la estabilidad base del bloque motriz. Siguiendo la arquitectura modular del ecosistema.

En los casos donde el Panel Diesel Controller se encuentra integrado con el Panel GP Controller (Control de Excitación), la entrada física ER queda completamente obsoleta y en desuso; en esta configuración distribuida, el firmware recibe la señal y las órdenes de ralentí normal de forma digital y en tiempo real a través del puerto CAN Bus 2 de expansión, simplificando el cableado físico entre tableros y delegando la sincronía a la autopista de datos.

11.10.5. Entrada Digital S.

Para la gestión del encendido de la locomotora, el sistema incorpora una entrada digital de criticidad operativa identificada en la bornera como S- (Start), la cual está destinada de forma exclusiva a registrar la orden de arranque del motor diésel. A diferencia del resto de los canales de conmutación pesados del tablero, esta interfaz cuenta con un hardware de detección adaptativo cuyo umbral de activación está calibrado a un mínimo de 8.5 Vdc y una corriente de lazo de 1 mA; este diseño de baja tensión es indispensable para contemplar y absorber la severa caída de tensión que sufren las baterías principales de la locomotora por su desgaste y el esfuerzo de torque que ejercen los motores de arranque en frío.

11.11.1. Salidas Digitales.

El Panel Diesel Controller incorpora cuatro canales independientes de salidas digitales mediante relés electromecánicos, optimizados específicamente para la conmutación segura de cargas pesadas de corriente continua dentro de los sistemas auxiliares de la locomotora. Con el propósito de resguardar la integridad del procesador central y anular los acoplamientos por ruidos de conmutación inductiva, todas las salidas disponen de una aislación galvánica total entre sí y respecto a las etapas lógicas de hardware. Asimismo, cada canal integra de forma dedicada un elemento de protección interna mediante fusibles calibrados a un valor máximo de 5 Acc, un blindaje de seguridad crítica que interrumpe instantáneamente la línea ante sobrecargas o cortocircuitos accidentales en el cableado de campo, confinando la falla de manera localizada sin afectar la disponibilidad operativa del resto de los circuitos de potencia del módulo principal.

11.11.2. Salida Digital +TLP, -TLP.

El sistema dispone de un canal de potencia dedicado identificado en la regleta de conexiones mediante los terminales +TLP y -TLP, el cual está específicamente diseñado para comandar de forma automatizada la bomba de prelubricación en aquellas locomotoras equipadas con turbocompresor. Dependiendo de la configuración y el modelo específico de la máquina, esta salida de relé aislada se instala intercalándose de forma directa en el circuito original del temporizador de prelubricación mecánica (TLP), el cual es removido por completo del tablero eléctrico. Al prescindir de este antiguo componente analógico, el firmware del Panel Diesel Controller asume el control absoluto de los ciclos de cebado, gestionando dinámicamente la activación de la bomba antes de habilitar la secuencia de arranque para lubricar el turbocompresor, así como también ejecutando un ciclo de postlubricación temporizado inmediatamente después de la parada del motor diésel para mantener el flujo de aceite mientras el turbocompresor continúa girando por inercia, evitando así que el lubricante se carbonice en los bujes debido al calor residual acumulado.

11.11.3. Salida Digital +FP, -FP.

El módulo dispone de un canal de potencia dedicado identificado en la regleta de conexiones mediante los terminales +FP y -FP, diseñado específicamente para automatizar la gestión y el control de la bomba de transferencia de combustible de la locomotora. Esta salida de relé aislada e integrada con fusible de 5 A se instala intercalándose en el circuito de cebado manual original de la máquina, permitiendo remover por completo dicho interruptor mecánico obsoleto del tablero de control. A través de este canal, el firmware del Panel Diesel Controller administra de manera inteligente todo el ciclo de alimentación de gasoil, gestionando una secuencia de cebado automático antes del arranque para eliminar burbujas de aire en la cañería y, de forma prioritaria en su lógica de seguridad intrínseca, ejecutando la parada e interrupción inmediata de la bomba ante casos de emergencias, fallos críticos o la desconexión del sensor de RPM, bloqueando instantáneamente el flujo de carburante para mitigar riesgos de incendio o averías mayores en la sala de máquinas.

El módulo mide constantemente la tensión de la batería a través de su propia línea de alimentación; si el generador auxiliar deja de cargar las baterías de la locomotora y la tensión desciende por debajo del umbral crítico de 67 Vcc, la bomba es detenida de manera automática, lo que resguarda el banco de acumuladores de sufrir una descarga profunda destructiva. Esta lógica inteligente permite que todo el sistema se alimente exclusivamente de la tensión de la batería, simplificando drásticamente el circuito convencional de conmutación de potencia entre la batería y el generador auxiliar al eliminar los contactores y relés mecánicos de transferencia originales.

11.11.4. Salida Digital +GS, -GS.

El módulo incorpora un canal de potencia de alta criticidad operativa identificado en la bornera de conexiones mediante los terminales +GS y -GS, diseñado específicamente para gobernar el acoplamiento y comando de los motores de arranque de la locomotora. Esta salida de relé aislada se instala intercalándose de forma directa en el circuito de arranque manual original de la máquina, el cual es modificado para ceder el control secuencial al hardware electrónico. A través de esta interfaz, el firmware desacopla los arrancadores de manera inmediata una vez que el motor diésel es autosustentable al superar el umbral de las 60 RPM. Este automatismo digital optimiza drásticamente el esquema original de fábrica, en el cual el corte de los motores de arranque dependía de la aparición de corriente alterna en el generador auxiliar; dicho método convencional resulta sumamente lento debido a la inercia propia del relé

de bajo voltaje (NVR) y al elevado régimen de revoluciones requerido para energizarlo, lo que provocaba un arrastre perjudicial de los componentes mecánicos. Al actuar directamente mediante la lectura en tiempo real del sensor de velocidad, el controlador interrumpe el circuito en milisegundos y, simultáneamente, implementa una lógica de seguridad activa que protege los motores de arranque ante una sobrecarga prolongada de arranque, desconectándolos automáticamente si se excede el límite de tiempo continuo parametrizado para evitar daños catastróficos por fatiga térmica.

11.11.5. Salida Digital +ALM, -ALM.

El módulo incorpora un canal de seguridad crítica identificado en la regleta de terminales mediante los bornes +ALM y -ALM, el cual opera a través de un relé configurado normal cerrado (NC) y es el encargado exclusivo de activar la alarma original de la locomotora al presentarse fallas severas de alta prioridad que impiden el funcionamiento seguro del motor diésel. En el plano eléctrico de la máquina, esta salida aislada de potencia se instala intercalándose de manera directa en el circuito de baja presión de aceite del regulador de velocidad original, actuando como el interruptor que cierra el lazo para disparar la señalización nativa de cabina. La naturaleza "normal cerrado" del componente responde a una lógica de seguridad intrínseca absoluta (Failsafe), garantizando que la alarma general de la locomotora se cierre y se active automáticamente en caso de que el Panel Diesel Controller no se encuentre energizado, se corte su alimentación o sufra una desconexión accidental, alertando de inmediato al personal de conducción ante la pérdida de supervisión del motor diésel.

12.1. Funcionamiento del Sistema.

12.2. Arranque motor Diesel.

Al energizarse la entrada digital S- mediante el pulsador de arranque local o desde la cabina de conducción, el firmware inicializa una secuencia de marcha totalmente automatizada. Como primera medida adaptativa, los servomotores se posicionan entre 0.68 y 1 pulgada de carrera, determinando mecánicamente el caudal inicial de combustible en función de la temperatura exacta del aceite. En ese mismo instante, se activan en conjunto la salida +TLP / -TLP para la prelubricación del turbocompresor y la salida +FP / -FP para la bomba de gasoil. El acoplamiento de los motores de arranque mediante la salida +GS / -GS ocurrirá únicamente cuando la presión de combustible alcance los 11 PSI o, en caso de una avería en el sensor "FUEL", tras un tiempo de espera fijo de 20 segundos desde la pulsación inicial. Para blindar los componentes eléctricos, los motores de arranque se energizarán un máximo de 8 segundos continuos y requerirán un intervalo de enfriamiento obligatorio de 3 minutos antes de un nuevo intento, aplicando además un desacople instantáneo y automático en cuanto el sensor de velocidad detecte que el motor diésel ha superado las 60 RPM.

Una vez encendido el motor, el régimen se mantendrá en un ralentí inicial de 350 RPM para asegurar una rápida lubricación y la correcta presurización del circuito de agua refrigerante. Al transcurrir 30 segundos, el firmware evalúa las condiciones térmicas: si la temperatura del aceite supera los 50 °C, el motor diésel desciende suavemente al ralentí nominal estándar de 330 RPM; de lo contrario, se sostiene a 350 RPM para acelerar el calentamiento del bloque. Cabe destacar que, si durante cualquier etapa de la secuencia de arranque se interrumpe físicamente el accionamiento del pulsador, el proceso completo será cancelado de manera inmediata por seguridad intrínseca.

12.3. Parada motor Diesel.

Cuando el motor diésel se encuentra en marcha y se acciona la entrada digital DV —correspondiente a la señal estandarizada de la bobina D de parada— por un período continuo mayor a 1 segundo, el firmware inicializa una secuencia de detención completamente automatizada sin requerir que el operador mantenga presionado el pulsador de cabina. En ese instante, el controlador corta la inyección a través de los servomotores y desenergiza la bomba de gasoil mediante la salida +FP / -FP. De forma simultánea, e incluso si el motor diésel es detenido por causas externas ajenas a la voluntad del maquinista (como la falta de combustible o fallos mecánicos), la salida +TLP / -TLP se activará inmediatamente y mantendrá energizada la bomba de prelubricación del turbocompresor durante un período fijo de 15 minutos continuos. Cabe destacar que esta secuencia de apagado seguro se replica con máxima precedencia ante la presencia de cualquier alarma de alta prioridad, en cuyo caso el Panel Diesel Controller forzará la detención inmediata del bloque motriz para mitigar daños catastróficos en sus componentes internos.

12.4. Ralentí Económico.

Con el objetivo de maximizar la eficiencia energética y reducir drásticamente el consumo innecesario de combustible, el firmware implementa una función inteligente de ralentí económico. Cuando la locomotora se encuentra completamente detenida y sin ejercer tracción por un período continuo de 5 minutos, el sistema reduce automáticamente el régimen del motor diésel de 330 RPM a un estado de baja velocidad de 290 RPM. Para que esta transición se encuentre activa de forma segura, el controlador verifica de manera estricta que se cumplan simultáneamente dos condiciones de seguridad críticas: en primer lugar, que la presión de aceite medida en los bornes del sensor OIL sea mayor a 17 PSI, y en segundo lugar, que la temperatura del lubricante registrada a través del bus CAN del sensor TEMP OIL sea mayor a 60 °C, garantizando así que la viscosidad y el flujo hidráulico sean óptimos para proteger los cojinetes en este régimen ultra bajo. En el instante exacto en que el maquinista comience la marcha y posicione el acelerador en el Punto 1 de tracción, el Panel Diesel Controller anula la función, restituyendo el ralentí nominal de 330 RPM en un tiempo de solo 230 milisegundos. Esta velocidad de respuesta ultra rápida elimina por completo cualquier tipo de retraso operativo (lag) mecánico, entregando la potencia de forma inmediata y transparente para el personal de conducción.

12.5. Límite de combustible.

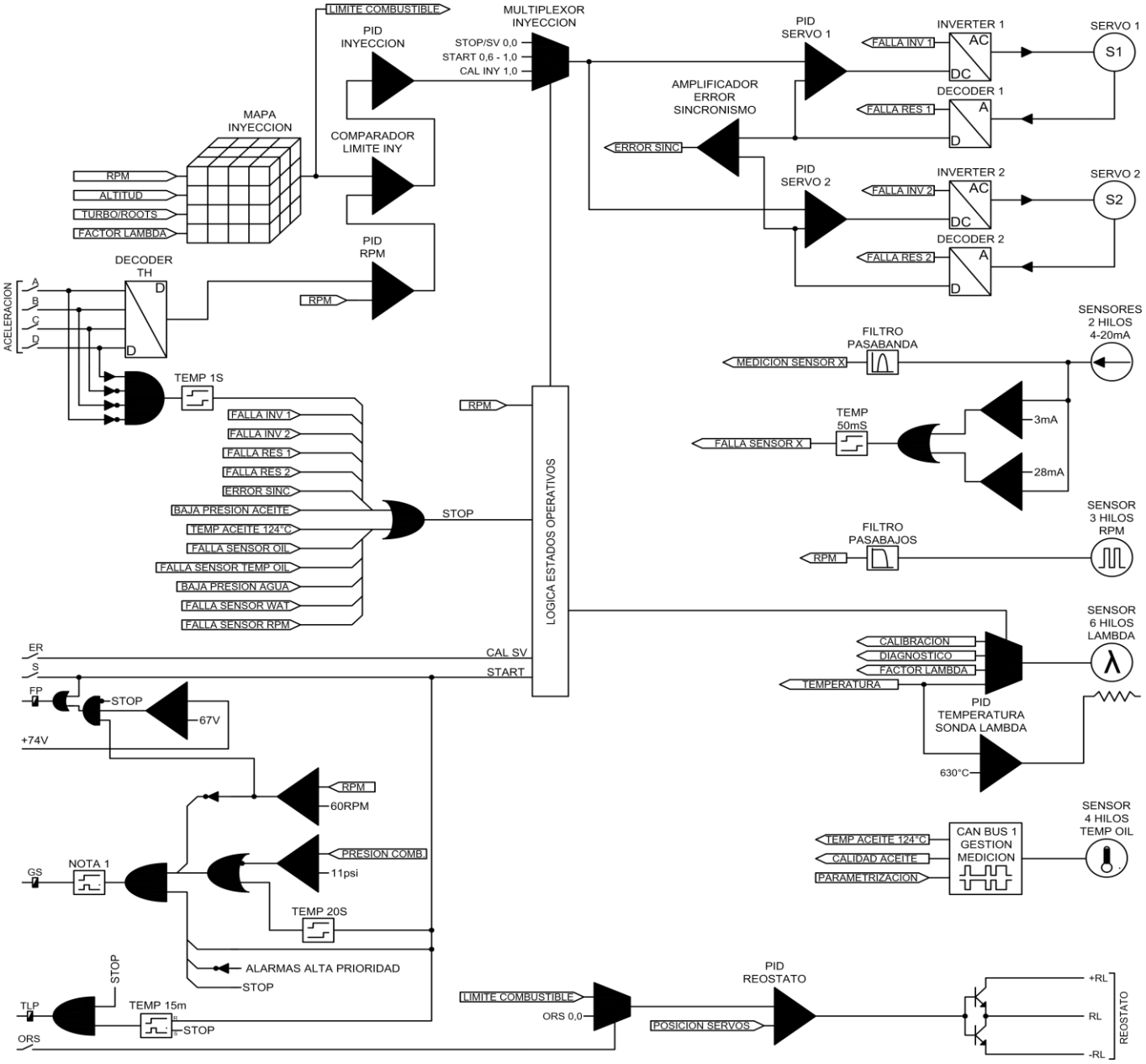
Para garantizar la máxima eficiencia térmica y proteger la integridad mecánica del motor diésel bajo cualquier escenario operativo, el Panel Diesel Controller incorpora un algoritmo avanzado de control que gestiona dinámicamente la máxima inyección de combustible. Las variables provistas en tiempo real por los sensores de altitud (+ALT / -ALT), presión de sobrealimentación (+SA / -SA), factor Lambda y las señales estandarizadas de aceleración (AV, BV, CV, DV), conforman un mapa de control multidimensional embebido en el controlador. Este mapa, tabulado de fábrica y parametrizado de manera específica en función del tipo de motor diésel de la locomotora, resuelve instantáneamente el límite superior de carrera para los servomotores de inyección, evitando excesos de carburante que degraden la combustión. Asimismo, el sistema ofrece una potente herramienta de diagnóstico local al indicar de forma explícita en el display la causa exacta de la limitación de combustible, detallando si la restricción responde a la potencia nominal, a la compensación por altitud geográfica, a la presión de sobrealimentación actual o al resguardo por factor Lambda.

12.6. Lógica de Control de Inyección y Equilibrio de Carga.

El firmware regula dinámicamente las RPM del motor diésel tomando como referencia la premisa de aceleración solicitada por el maquinista y utilizando como tope absoluto el límite de combustible resuelto por el mapa multidimensional. Cuando la demanda de potencia eléctrica en los motores de tracción es excesiva y el sistema no logra sostener las RPM establecidas debido a la restricción del límite de combustible, el controlador interviene reduciendo la carga del motor diésel al llevar el reóstato de carga hacia su excitación mínima. Por el contrario, si las RPM se encuentran estables y los servomotores de inyección operan por debajo del límite de combustible, el módulo incrementa la demanda eléctrica llevando el reóstato de carga hacia su excitación máxima. Esta interacción continua y bidireccional posiciona automáticamente al reóstato de carga de estado sólido en un punto de equilibrio perfecto, garantizando que la potencia eléctrica extraída del generador principal se adapte matemáticamente y en tiempo real a la capacidad térmica y estequiométrica real del motor diésel bajo cualquier condición ambiental. Mediante la activación de la entrada digital ORS, el reóstato de carga será forzado a excitación mínima, sin importar las condiciones de carga.

Complementando esta interacción, en los casos donde el Panel Diesel Controller se encuentra integrado con el Panel GP Controller (Control de Excitación), el controlador enviará de forma continua a través de la red CAN Bus 2 de expansión la posición exacta calculada para el reóstato y el valor límite de potencia máxima de tracción, permitiendo que ambos módulos descentralizados coordinen en tiempo real la demanda del generador principal y resguarden la capacidad térmica y estequiométrica real del motor diésel bajo cualquier condición ambiental.

12.7. Diagrama de Funcionamiento.



NOTA 1: Temporizador con retardo a la desconexión con memoria de 8 segundos. Reset automático en ciclos de 3 min.

13.1. Pantalla Menú.

El sistema implementa una interfaz de operación monolítica de alta robustez táctil mediante un único pulsador multifunción instalado en el panel frontal, diseñado para que el operario navegue de forma secuencial por las distintas pantallas del menú y visualice todas las variables del motor diésel sin necesidad de teclados matriciales complejos. Este componente integra un sistema de retroiluminación por LED de color rojo que funciona en sincronía con el módulo de diagnóstico para proporcionar una evaluación visual instantánea sobre el estado de criticidad de la locomotora mediante dos frecuencias de conmutación bien diferenciadas:

• Destello a 2 Hz (Baja Prioridad): Si el pulsador parpadea de forma intermitente a una frecuencia de dos veces por segundo (2 Hz), el firmware indica la presencia de alarmas de baja prioridad (alertas operativas) que requieren atención preventiva, pero permiten continuar con la marcha de la locomotora.

• Encendido Continuo (Alta Prioridad): Si la retroiluminación roja permanece encendida de forma fija, el sistema advierte sobre la existencia de alarmas de alta prioridad (fallas graves) que comprometen la integridad del block e implican o forzarán la detención inmediata del motor diésel.

Esta configuración permite al personal del taller o de conducción evaluar el estado general del equipo a gran distancia en la sala de máquinas con solo mirar el ritmo de la luz. En el plano del software, los mensajes de alarma en formato de texto se despliegan en la pantalla de forma completamente automática y ordenados de manera estricta por su nivel de prioridad, anteponiendo siempre la falla más grave. Cuando un texto de alarma interrumpe la visualización actual, el operador tiene la facultad de regresar temporalmente a las pantallas comunes del menú manteniendo presionado el pulsador multifunción por más de 1 segundo; tras ejecutar esta acción de descarte, el firmware enmascara el aviso para que los textos de esa alarma no vuelvan a interrumpir la pantalla durante un período fijo de 3 minutos, a menos que el usuario decida ingresar de forma voluntaria al menú específico de alarmas para revisarlas.

13.2. Menú INYECCIÓN.

RUN	LR 100%
TH RALEN	λ 0.98
RPM 330	PSA 6psi
iny 0.83	Liny RPM

Estado operativo:

PRES FUEL: Presurización sistema de combustible.

START: Arranque motor diésel.

STOP: Motor diésel detenido.

RUN: Motor diésel en marcha.

SOBREVEL: Actuación límite de velocidad electrónico a 1000RPM.

CALIB INY: Cremalleras en posición de 1´ para la calibración de inyectores.

CALIB Sve: Régimen de 1050RPM para calibración gatillo sobrevelocidad.

Aceleración:

TH STOP: Orden de parada manual motor diésel.

TH RALEN: Motor diésel en ralentí.

TH 6: Punto 6 de aceleración Motor diésel.

RPM:

RPM: Revoluciones por minuto motor diésel.

Posición Inyección:

Iny 0.83: Posición cremalleras de inyección.

Iny ERROR: Error resolver posición servos.

Reóstato de carga:

LR 100%: Porcentaje posición virtual reóstato de carga.

Factor Lambda:

λ OFF: Sonda Lambda apagada, motor diésel detenido.

λ HEATER: Sonda Lambda calentando.

λ 0.98: Valor de medición Sonda Lambda.

λ ERROR: Error Sonda Lambda.

Presión de Sobrealimentación:

PSA 6psi: Presión sobrealimentación.

PSA OPEN: Sensor SA abierto.

PSA SHORT: Sensor PSA en corto circuito.

Límite de inyección:

Liny RPM: Limite de inyección por RPM.

Liny ALT: Limite de inyección por altitud.

Liny TURBO: Limite de inyección por presión de sobrealimentación.

Liny λ: Limite de inyección por factor Lambda.

13.3. Menú ENTRADAS DIGITALES.

AV OFF	OR OFF
BV OFF	ER OFF
CV OFF	ST OFF
DV ON	RPM ON

Esta sección del HMI actúa como un analizador lógico en tiempo real, permitiendo al personal de mantenimiento verificar la integridad de las señales de control de 72 Vdc provenientes del pupitre de comando y el estado de la periferia digital sin necesidad de instrumentación externa. Al ingresar al Menú ENTRADAS DIGITALES, el display refleja de forma instantánea el estado lógico de los canales pesados mediante los siguientes mnemónicos de diagnóstico:

AV, BV, CV, DV: Muestra el estado lógico individual (ON/OFF) de las cuatro líneas estandarizadas de aceleración. Permite verificar de forma directa si los contactores del combinador de cabina están conmutando correctamente y si el cableado hacia el panel se encuentra libre de interrupciones físicas.

OR: Indica el estado lógico (ON/OFF) del canal de la bobina de reducción de carga (ORS - Override Solenoid). Al registrarse en estado ON, confirma que un sistema de protección externo (como el relé de patinado de ruedas)

ha tomado precedencia, obligando al firmware a llevar el reóstato a su mínima excitación.

ST: Refleja el estado lógico (ON/OFF) del canal dedicado a la señal de inicio de arranque de baja tensión (S-). Permite constatar si el pulsador de cabina o el comando automático local están ingresando de manera efectiva al hardware de detección adaptativo del módulo.

RPM: Indica el estado de conmutación instantáneo (ON/OFF) de la señal digital de alta velocidad proveniente del sensor inductivo Turck de un pulso por revolución. Actúa como una herramienta visual crítica para comprobar en el acto que el sensor está leyendo correctamente el paso físico del contrapeso del árbol de levas y que no presenta anomalías de holgura mecánica (gap).

13.4. Menú SALIDAS DIGITALES.

```
TLP OFF
FP ON
GS ON
ALM OFF
```

Esta pantalla del HMI proporciona una supervisión directa sobre el estado lógico de los cuatro canales de potencia electromecánicos del sistema, permitiendo al personal técnico verificar en tiempo real las órdenes de actuación emitidas por el firmware hacia los circuitos auxiliares de la locomotora. Al ingresar al Menú SALIDAS DIGITALES, el display refleja instantáneamente la condición de conmutación de cada relé aislado galvánicamente mediante las siguientes nomenclaturas estandarizadas:

• TLP (ON/OFF): Muestra el estado operativo del relé encargado de comandar la bomba de prelubricación y postlubricación del turbocompresor. Permite auditar visualmente la correcta ejecución del ciclo de presurización inicial antes de la marcha y la temporización crítica de 15 minutos posteriores a la detención del motor diésel.

• FP (ON/OFF): Indica el estado lógico del canal destinado al control de la bomba de combustible. Refleja tanto las secuencias automáticas de cebado previo a la ignición como las desconexiones de emergencia o cortes automáticos por baja tensión por debajo del umbral de los 67 Vcc.

• GS (ON/OFF): Refleja la activación del relé de acoplamiento de los motores de arranque (Governor Start). Funciona como un indicador crítico de diagnóstico para comprobar que la lógica de arranque está activa y verificar que el software ejecute el desacople instantáneo al superar las 60 RPM o el corte de seguridad por sobrecarga prolongada a los 8 segundos.

• ALM (ON/OFF): Expone el estado del relé de seguridad Failsafe de alarma general conectado al circuito del tablero de cabina. Permite corroborar que el lazo se mantenga cerrado para silenciar los avisos nativos en condiciones normales de operación, o abierto (OFF) para disparar las chicharras y luces originales ante eventos de alta prioridad o por desenergización total del panel.

13.5 Menú ENTRADAS ANALOGICAS 1.

```
OIL  20psi   86°C   OK
FUEL 11psi   18l/h
SA   SHORT
ALT  1000hPa
```

Esta pantalla del HMI proporciona una interfaz de supervisión dinámica en tiempo real y análisis de capa física para el primer grupo de lazos analógicos de dos hilos y 4-20 mA del motor diésel. El display consolida las mediciones hidrostáticas, térmicas y fisicoquímicas estructurando la información mediante el siguiente formato multivariable de lectura simultánea:

• OIL (SHORT / OPEN /20psi / 86°C / OK): Renglón superior de alta prioridad que unifica de forma directa la presión en la galería de lubricación (20 PSI), la temperatura digital de bloque (86 °C) y el veredicto instantáneo de calidad fisicoquímica del aceite (OK), validando que las propiedades dieléctricas y de viscosidad analizadas por el bus CAN 1 son óptimas para la marcha.

• FUEL (11psi / 18l/h): Fila destinada al circuito de alimentación de gasoil que expone la presión real a la salida de los filtros secundarios (11 PSI) junto con el caudal instantáneo de consumo de carburante calculado por el firmware (18 l/h).

• SA (SHORT / OPEN / Valor): Indicador de diagnóstico continuo para el canal de presión de sobrealimentación. El sistema ejecuta un monitoreo simultáneo sobre el lazo de dos hilos: ante una falla de cableado, despliega de forma automática la bandera SHORT (detección de cortocircuito a masa) u OPEN (detección de lazo abierto o cable desconectado), sustituyendo la lectura de presión relativa solo cuando la línea recupera su integridad eléctrica.

• ALT (SHORT / OPEN /1000hPa): Despliegue de la medición barométrica absoluta (1000 hPa) provista por el sensor de altitud, parámetro que ingresa directamente al mapa de 5 dimensiones para compensar dinámicamente la inyección según la densidad del aire ambiente.

13.6. Menú ENTRADAS ANALOGICAS 2.

```
CART   0,05psi
WATER  9psi
U BAT  72V
U SEN  15,8V
```

Esta sección del HMI proporciona una interfaz de visualización crítica centrada en la seguridad interna del bloque motriz, la presión hidráulica del refrigerante y la auditoría de los niveles de tensión en las etapas de potencia y regulación de lazo. Al igual que el menú analógico previo, el hardware ejecuta de forma paralela algoritmos de autodiagnóstico simultáneo (SHORT / OPEN) para aislar de forma automática cualquier fallo de cableado. El display unifica la información de campo estructurando los renglones bajo el siguiente formato multivariable:

• CART 0,05psi: Muestra el valor de presión interna en la recámara del cárter del motor diésel. Permite detectar de inmediato el soplado excesivo (blow-by) antes de activar el relé general de alarma.

• WATER 9psi: Indica de forma exacta la presión hidrostática del circuito de agua refrigerante medida en la descarga de la bomba de agua aprovechando el adaptador acoplado a la llave de prueba original. Este valor de régimen es auditado en tiempo real por el firmware para validar la correcta circulación del líquido y anular falsos positivos durante la puesta en marcha.

• U BAT 72V: Despliega de forma continua la lectura neta de tensión de la batería principal de la locomotora medida a través de la línea de alimentación. Esta variable es fundamental para la lógica de seguridad del sistema, permitiendo al firmware desactivar la salida +FP / -FP de la

bomba de combustible si el generador auxiliar deja de cargar y la tensión desciende por debajo de los 67 Vcc, protegiendo las celdas contra descargas profundas.

• U SEN 15,8V: Expone el nivel real de tensión regulada provisto por la fuente interna exclusiva de alta prioridad del Panel Diesel Controller para la periferia de sensores. Esta métrica permite constatar en tiempo real que el circuito de alimentación estabilizado opere de forma óptima bajo carga y que su limitador electrónico mantenga a resguardo el lazo digital frente a contingencias en la sala de máquinas.

13.7. Menú BANCOS.

BANCO L	BANCO R
0.89iny	0.89iny
2.16A	2.23A
λ 0.98	λ 0.96

• Posición Mecánica y Diagnóstico (0.89iny / 0.89iny / ERROR): Muestra con resolución de centésimas de pulgada la carrera física instantánea ejecutada por los servomotores independientes en cada banco. Si el firmware detecta una falla o pérdida de señal en el captor de posición absoluto de alguno de los actuadores, realiza una multiplexación dinámica, sustituyendo el valor numérico por la leyenda ERROR en el banco afectado, alertando sobre una anomalía crítica en la capa de realimentación del resolver.

• Consumo de Corriente e Inversores (2.16A / 2.23A / ERROR): Despliega la intensidad de corriente neta en Amperios consumida por las etapas de potencia de cada actuador lineal. En caso de que ocurra una falla en las etapas de conmutación de los inversores vectoriales que gobiernan los servomotores, este segundo renglón realiza una multiplexación dinámica, reemplazando la lectura de amperajes por la leyenda ERROR en el bloque correspondiente, exponiendo instantáneamente un fallo en la capa de fuerza.

• Estequiométrico y Control de Gases (λ 0.98 / λ HEATER / λ OFF / λ ERROR): Expone los valores independientes del factor Lambda medidos en los colectores de escape de cada banco de cilindros. Este tercer renglón ejecuta una multiplexación dinámica para informar los estados operativos de la celda química, alternando de la siguiente manera según la condición del sistema:

• Valor Numérico (Ej. λ 0.98): Lectura neta de gases activa y disponible para el mapa de 5 dimensiones.

• λ HEATER: Sonda en fase de precalentamiento térmico activo para alcanzar su temperatura nominal de trabajo.

• λ OFF: Sonda apagada automáticamente de forma preventiva debido a que el motor diésel se encuentra detenido.

• λ ERROR: Falla de hardware, circuito abierto o cortocircuito en el lazo de la sonda de gases del banco afectado.

13.8. Menú ALARMAS.

Al acceder al Menú ALARMAS, el operador puede visualizar la totalidad de las advertencias y fallas críticas que se encuentran latentes o retenidas, sirviendo como el punto de consulta definitivo luego de haber ejecutado un reset de visualización de alarmas (enmascaramiento temporal de 3 minutos mediante la pulsación larga del botón multifunción).

14.1 Alarmas de Alta Prioridad.

Esta categoría de eventos gestiona los escenarios de fallas críticas que comprometen de manera directa la integridad del motor diésel o la seguridad operativa de la locomotora. Ante la activación de una anomalía de este rango, la máquina de estados interviene de forma inmediata aplicando una restricción de máxima precedencia: se impide de manera absoluta la puesta en marcha del motor diésel o, en caso de encontrarse en régimen de funcionamiento, se fuerza su detención instantánea. En el plano del HMI, el lazo de diagnóstico toma el control de la interfaz visual, haciendo que la retroiluminación por LED del pulsador de menú quede encendida permanentemente en color rojo fijo. Los mensajes de texto de alarma son presentados de forma automática y estructurados en un orden estricto de mayor a menor prioridad, asegurando que la falla que originó la parada de emergencia o el bloqueo de arranque encabece la pantalla para guiar de inmediato las tareas de rectificación del personal técnico.

En el caso de producirse una alarma de alta prioridad que detuvo el motor diésel, el mensaje de falla quedará estrictamente enclavado en su visualización en pantalla, impidiendo que se borre accidentalmente durante las revisiones. Una vez que la avería física ha sido normalizada en el motor, el enclavamiento del texto se reseteará de manera completamente automática al recibir la señal de arranque por la entrada digital dedicada, limpiando la interfaz para iniciar el ciclo seguro de encendido sin requerir rearmes manuales en el menú.

Las alarmas de alta prioridad activan la salida ALM, relé de alarmas.

14.2. Falla Interna – Error ADC Sensores

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
FALLA INTERNA
ERROR ADC SENSORES

Causa de Disparo: Esta protección actúa ante una falla en los circuitos de adquisición de señales de los sensores de campo, lo que genera una degradación irreversible en la etapa interna de conversión analógico-digital del hardware. Al no poder garantizar la integridad ni la fidelidad matemática en la lectura de las variables críticas del motor diésel, el sistema ejecuta una detención inmediata por seguridad absoluta (Failsafe). Este evento representa una falla interna irreversible del módulo, determinando que el equipo debe ser reemplazado por completo para restablecer la operatividad segura de la locomotora.

14.3. Sobreintensidad Inversor Servo X

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
SOBREINTENSIDAD
INVERSOR SERVO X

X = L/R

Causa de Disparo: Esta protección del firmware actúa de forma inmediata cuando la intensidad de corriente en cualquiera de las líneas de corriente alterna (AC) que alimentan al servomotor supera el límite crítico de 5 A. Este evento puede producirse por un cortocircuito entre las líneas de fases, un cortocircuito directo entre las líneas AC y el bus positivo de la batería, o un cortocircuito hacia el bus negativo de la misma. Para salvaguardar la integridad de los semiconductores de potencia ante este estrés eléctrico severo, el controlador bloquea instantáneamente las

etapas de conmutación del inversor y fuerza una parada de emergencia. Cabe destacar que esta protección cuenta con lógica autorearmable: luego de normalizarse el fallo eléctrico en el cableado o en el actuador, el inversor correspondiente volverá a funcionar de manera completamente automática, restableciendo su capacidad operativa sin requerir intervenciones manuales en el software.

14.4. Línea X Servo Y Abierta

ALARMA ALTA PRIORIDAD! LINEA X SERVO Y ABIERTA comprobar SXY

X = U/V/W

Y= L/R

Causa de Disparo: Esta protección del firmware actúa cuando el lazo de realimentación de corriente de los inversores vectoriales registra un valor de 0 mA en una de las fases (U, V o W) mientras el controlador exige torque o movimiento al servomotor correspondiente (L o R). Esta condición es síntoma inequívoco de un cable cortado por vibración, un pin flojo o sulfatado en el arnés de conexión Faston, o una bobina abierta internamente en el propio estator del servomotor.

14.5. Sobretemperatura Inversor Servo X

ALARMA ALTA PRIORIDAD! SOBRETEMPERATURA INVERSOR SERVO X

X = L/R

Causa de Disparo: Esta protección del firmware se activa de forma automática cuando la temperatura interna del inversor correspondiente supera el límite crítico de 115 °C. Este escenario se produce habitualmente ante exigencias mecánicas extremas en el varillaje. Para salvaguardar la integridad de los componentes semiconductores antes de alcanzar su punto de destrucción térmica, la máquina de estados bloquea inmediatamente la etapa de fuerza y detiene el motor diésel. La protección se mantiene enclavada por seguridad hasta que el inversor se enfríe y descienda por debajo de los 90 °C, momento en el cual el sistema ejecuta un reset automático para restablecer la disponibilidad operativa total.

14.6. Falla Resolver X – Umbral Bajo/Alto SEN/COS

ALARMA ALTA PRIORIDAD! FALLA RESOLVER X UMBRAL BAJO SEN/COS

ALARMA ALTA PRIORIDAD! FALLA RESOLVER X UMBRAL ALTO SEN/COS

X= L/R

Causa de Disparo: Esta protección del firmware actúa cuando la amplitud de las señales analógicas de seno (SEN) o coseno (COS) recibidas desde el sensor de posición absoluto del actuador correspondiente se ubica fuera de los límites operativos seguros establecidos por hardware. Una lectura por debajo del umbral mínimo delata típicamente una interrupción o corte físico en las líneas de señal, pines descalzados en el arnés Faston o un fallo de aislamiento en las bobinas del sensor. Por el contrario, una amplitud por encima del umbral máximo expone un cortocircuito directo hacia las líneas vivas del circuito de potencia. También puede causar esta alarma la desconexión o cortocircuito del circuito de excitación del resolver.

14.7. Falla Resolver X – Sobrecarga Excitación

ALARMA ALTA PRIORIDAD! FALLA RESOLVER X SOBRECARGA EXCITACION comprobar +/-REXX

X = L/R

Causa de Disparo: Esta protección del firmware interviene de forma inmediata cuando el circuito detector interno registra un cortocircuito o un drenaje de corriente por encima del umbral seguro en las líneas de la bobina primaria de excitación del resolver. Este evento se genera típicamente por un rozamiento o daño mecánico en el arnés de cables Faston que pone a masa o une entre sí los conductores de señal, o por un cortocircuito interno en el propio bobinado del captor del servo correspondiente. Para resguardar las etapas electrónicas de oscilación galvánica del controlador y evitar la pérdida absoluta del lazo cerrado de inyección, la máquina de estados bloquea las etapas de potencia en microsegundos y direcciona al operario a inspeccionar estrictamente los bornes físicos identificados como +/-REXL o +/-REXR.

14.8. Falla Servo X – Error de Fase / Bloqueado

ALARMA ALTA PRIORIDAD! FALLA SERVO X ERROR DE FASE / BLOQUEADO

X = L/R

Causa de Disparo: Esta protección del firmware actúa cuando el lazo cerrado cinemático registra una imposibilidad absoluta de posicionamiento. Este evento se genera estrictamente ante un bloqueo mecánico o agarrotamiento en el varillaje y las cremalleras de inyección del motor diésel, o debido a un error de conexión por inversión en las fases de alimentación del servomotor (U, V, W) y/o en las líneas del captor de posición absoluto (resolver). Al detectarse que el sentido de giro o el desplazamiento no se corresponden matemáticamente con el vector de fuerza inyectado por el inversor, el controlador interrumpe el suministro eléctrico en microsegundos y fuerza una parada de emergencia de máxima precedencia para evitar daños en los actuadores y descartar un funcionamiento fuera de control.

14.9. Error Sincronismo Servos

ALARMA ALTA PRIORIDAD! ERROR SINCRONISMO SERVOS

Causa de Disparo: El sistema activa la alarma de alta prioridad por error de sincronismo de servos cuando la desviación de posición entre las cremalleras de inyección izquierdo y derecho supera los límites de tolerancia calibrados. Esta protección interrumpe de inmediato la potencia de los inversores para prevenir un desbalance de torque destructivo y vibraciones críticas en el motor.

14.10. Baja Tensión Batería

ALARMA ALTA PRIORIDAD!

BAJA TENSION BATERIA

Causa de Disparo: Esta protección actúa bajo dos escenarios críticos de control de tensión:

1. Durante el Régimen de Marcha: Si el generador auxiliar deja de cargar las baterías y la tensión continua nominal del circuito principal desciende por debajo de los 67 Vcc, el firmware detiene inmediatamente el motor diésel y corta la salida +FP / -FP de la bomba de combustible para evitar una descarga profunda y destructiva en el banco de acumuladores.

2. Durante la Secuencia de Arranque: Si en el momento exacto de dar marcha el esfuerzo de los arrancadores provoca que la tensión de la batería perfore el límite extremo de los 10 Vdc, el módulo interrumpe el proceso de arranque de forma automática por un período fijo de 20 segundos. Esta ventana de espera por software rompe el bucle cinético y evita las oscilaciones destructivas en los contactores pesados, resguardando la electrónica de control y la vida útil de los bobinados antes de habilitar un nuevo intento.

14.11. Baja Tensión Auxiliar Sensores

ALARMA ALTA PRIORIDAD!

BAJA TENSION AUXIL. SENSORES

Causa de Disparo: Esta protección del firmware actúa inmediatamente cuando la tensión de la fuente de alimentación exclusiva de los sensores de campo queda ausente o desciende por debajo del umbral crítico de los 12 Vcc. Este evento se produce ante una falla interna en los circuitos de regulación del módulo o debido a un cortocircuito severo y prolongado en las líneas de los sensores industriales que supere la capacidad de disipación del limitador electrónico de 80 mA. Al perforarse este límite de voltaje, el hardware pierde la capacidad de garantizar lecturas analógicas fidedignas en los lazos de 4 a 20 mA y la estabilidad en las transiciones de red, por lo que la máquina de estados forzaría una detención de emergencia inmediata por seguridad absoluta (Failsafe).

14.12. Sensor Oil-Temp – Falla CAN 1

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
SENSOR OIL-TEMP
FALLA CAN 1 comprobar
PSEN, NSEN, CH1, CL1

Causa de Disparo: Esta protección del firmware actúa de manera inmediata cuando la máquina de estados pierde el flujo continuo de tramas de datos digitales provenientes del sensor inteligente. La máxima prioridad de este lazo radica en la imposibilidad absoluta de operar el motor diésel sin una lectura fidedigna de la temperatura y degradación del aceite; por esta razón crítica de seguridad, el sistema dispone de un puerto CAN Bus exclusivo y dedicado de alta prioridad que aísla por completo este flujo de datos del resto de las redes de la locomotora. Al perderse la comunicación y quedar el controlador ciego ante el estado real del lubricante en el núcleo térmico del motor, se fuerza una parada de emergencia instantánea. El display guía directamente las tareas de taller instruyendo de forma taxativa comprobar la integridad física del cableado blindado en sus borneras dedicadas de alimentación eléctrica: PSEN y NSEN, junto con las líneas de datos digitales CH1 (CAN 1 High) y CL1 (CAN 1 Low).

14.13. Alta Temperatura Aceite Motor Diésel

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
ALTA TEMPERATURA
ACEITE MOTOR DIESEL

Causa de Disparo: Esta protección del firmware actúa de manera inmediata cuando la temperatura del lubricante del motor diésel, transmitida continuamente por el puerto bus CAN 1 exclusivo de alta prioridad, supera el límite crítico de 124 °C. Este escenario de falla grave se produce típicamente ante obstrucciones severas en los radiadores de aceite, fallas en el circuito hidráulico de refrigeración general o debido a exigencias mecánicas extremas sostenidas en la vía. Para evitar que el aceite sufra una degradación térmica irreversible y pierda por completo su capacidad de cuña hidrodinámica en los cojinetes, la máquina de estados fuerza la detención inmediata del motor. La protección se mantiene estrictamente enclavada por seguridad hasta que la temperatura del aceite descienda por debajo de los 90 °C, momento en el cual el sistema ejecuta la desactivación automática del bloqueo para permitir el reinicio seguro de la secuencia de arranque.

14.14. Baja Presión Motor Diésel

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
BAJA PRESION
MOTOR DIESEL

Causa de Disparo: Esta protección del firmware actúa bajo una curva de control adaptativa, lo que significa que el umbral de disparo por baja presión no es un valor constante, sino que se calcula de forma lineal en función de las RPM actuales del motor diésel, parametrizando los límites entre un mínimo de 10 PSI a 320 RPM y un máximo de 44 PSI a 900 RPM. Al perforarse la línea de esta rampa hidrodinámica, el controlador fuerza la detención inmediata del motor diésel. Con el objetivo de evitar apagados falsos y permitir que la bomba mecánica presurice las galerías principales, esta alarma queda completamente anulada por software durante los primeros 60 segundos del arranque para poder identificar de forma segura fugas de baja presión de aceite. No obstante, esta temporización es cancelada de manera inmediata en el instante en que se acelera el motor diésel al Punto 2 de tracción, habilitando instantáneamente el lazo de protección en rampa para blindar los componentes mecánicos bajo carga.

14.15. Sensor Oil Open/ Short (Lazo Abierto/ Corto Circuito)

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
SENSOR OIL OPEN
comprobar conexiones
+OIL y -OIL

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
SENSOR OIL SHORT
comprobar conexiones
+OIL y -OIL

Causa de Disparo: Estas protecciones del firmware actúan de manera inmediata gracias al algoritmo de autodiagnóstico continuo sobre el lazo

de dos hilos y 4-20 mA del transmisor. Para evitar falsos disparos provocados por ruidos eléctricos transitorios de alta frecuencia o acoplamientos inductivos momentáneos en la sala de máquinas, el firmware implementa un filtro digital con un retardo de confirmación estricto de 50 ms. La activación de esta alarma responde estrictamente a la pérdida absoluta de la referencia de presión de aceite por parte del controlador.

• La leyenda SENSOR OIL OPEN se consolida cuando la corriente del bucle cae a 3 mA de forma sostenida, indicando la pérdida de referencia debido a un circuito abierto por cable cortado o terminal descalzado.

• La leyenda SENSOR OIL SHORT se activa si la corriente supera el límite nominal de los 28 mA de forma sostenida, señalando la pérdida de referencia por un cortocircuito directo a masa o roce de líneas vivas contra el chasis.

Con la perdida de referencia de la presión de aceite del motor diésel, la máquina de estados congela la operación por seguridad intrínseca (Failsafe) y direcciona al operario a comprobar la integridad del cableado en los bornes dedicados +OIL y -OIL.

14.16. Presión Positiva Cárter Motor Diésel

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
PRESION POSITIVA
CARTER MOTOR DISEL

Causa de Disparo: Esta protección de máxima precedencia actúa de manera inmediata cuando el valor de presión interna en la recámara del cárter supera el umbral crítico de 0.1 PSI (equivalente a los 7 mbar o 70 mmH_2O de contrapresión), umbral validado por el filtro digital tras sostenerse de forma continua por un lapso superior a los 50 ms para evitar falsos disparos por pulsaciones transitorias del motor. Este escenario delata fallas mecánicas de extrema gravedad, tales como un soplado severo de gases de combustión (blow-by) debido a aros de pistón rotos, camisas agrietadas, pistones fisurados o una falla catastrófica en el sistema de evacuación por eyector de gases del escape. Para evitar un reventón de las tapas ciegas del motor, fugas masivas de aceite caliente con riesgo inminente de incendio en la sala de máquinas o el embalamiento del motor diésel por aspiración de sus propios vapores de aceite, la máquina de estados corta la inyección deteniendo el motor diésel.

14.17. Sensor Cart Open/ Short (Lazo Abierto/ Corto Circuito)

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
SENSOR CART OPEN
comprobar conexiones
+CART y -CART

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
SENSOR CART SHORT
comprobar conexiones
+CART y -CART

Causa de Disparo: Estas protecciones del firmware actúan de manera inmediata gracias al algoritmo de autodiagnóstico continuo sobre el lazo de dos hilos y 4-20 mA del transmisor industrial. Al igual que con el resto de las interfaces analógicas de campo, el firmware implementa un filtro digital con un retardo de confirmación estricto de 50 ms. La activación de esta alarma responde estrictamente a la pérdida absoluta de la referencia de presión de cárter por parte del controlador. Transcurrida la ventana temporal de 50 ms sin una señal válida:

• La leyenda SENSOR CART OPEN se consolida cuando la corriente del bucle cae a 3 mA de forma sostenida, indicando la pérdida de referencia debido a un circuito abierto por un cable cortado o terminal descalzado.

• La leyenda SENSOR CART SHORT se activa si la corriente supera el límite nominal superior de los 28 mA de forma sostenida, señalando la pérdida de referencia por un cortocircuito directo a masa o roce de líneas vivas contra el chasis.

Dado que operar sin esta referencia vital impediría al firmware supervisar la estanqueidad del block y ejecutar la parada de emergencia ante un soplado catastrófico, la máquina de estados congela la operación por seguridad intrínseca (Failsafe). Cabe destacar que el display direcciona al operario a comprobar la integridad del cableado en los bornes compartidos de la regleta de alimentación identificados como +CART y -CART, correspondientes a la línea de suministro regulada de la red de sensores.

14.18. Baja Presión Agua Refrigeración Motor Diésel

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
BAJA PRESION AGUA
REFRIG. MOTOR DIESEL

Causa de Disparo: Esta protección del firmware opera bajo una rampa de control adaptativa continua. El umbral de disparo por baja presión de agua refrigerante no es un valor constante, sino que se calcula de forma lineal y dinámica en función de las revoluciones por minuto actuales del motor diésel, parametrizando los límites entre un mínimo de 3 PSI a 320 RPM (ralentí) y un máximo de 14.6 PSI a 1000 RPM (régimen máximo). Si la presión hidráulica medida por el sensor perfora la línea de esta rampa hidrodinámica por más de 50 ms, el controlador ejecuta la parada de emergencia.

Con el objetivo de permitir que las bombas mecánicas de agua evacúen el aire del circuito al encender la máquina, esta alarma cuenta con un retardo de inhibición por software de 60 segundos durante el arranque. No obstante, esta temporización de gracia queda anulada de manera inmediata en el instante en que se acelera el motor diésel al Punto 2, habilitando el escudo de protección activa bajo carga.

14.19. Sensor Wat Open/ Short (Lazo Abierto/ Corto Circuito)

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
SENSOR WAT OPEN
comprobar conexiones
+WAT y -WAT

ALARMA ALTA PRIORIDAD!
SENSOR WAT SHORT
comprobar conexiones
+WAT y -WAT

Causa de Disparo: Estas protecciones del firmware actúan de manera inmediata gracias al algoritmo de autodiagnóstico continuo sobre el lazo de dos hilos y 4-20 mA del transmisor. Al igual que con los canales analógicos anteriores, el firmware implementa un filtro digital con un retardo de confirmación estricto de 50 ms. La activación de esta alarma responde estrictamente a la pérdida absoluta de la referencia de presión de agua por parte del controlador. Transcurrida la ventana temporal de 50 ms sin una señal válida:

• La leyenda SENSOR WAT OPEN se consolida cuando la corriente del bucle cae a 3 mA de forma sostenida, indicando la pérdida de referencia

debido a un circuito abierto por un cable cortado o terminal descalzado en la regleta.

• La leyenda SENSOR WAT SHORT se activa si la corriente supera el límite nominal de los 28 mA de forma sostenida, señalando la pérdida de referencia por un cortocircuito directo a masa o roce de líneas vivas contra el chasis de la máquina.

Dado que operar sin esta referencia vital impediría a la rampa lineal adaptativa resguardar el motor frente a un colapso hidráulico, la máquina de estados detiene el motor diésel por seguridad intrínseca (Failsafe) y direcciona al operario a comprobar de forma física la integridad del cableado y el ajuste de los bornes dedicados +WAT y -WAT.

14.20. Sensor RPM Motor Diésel

ALARMA ALTA PRIORIDAD! **SENSOR RPM** **MOTOR DIESEL**

Causa de Disparo y Lógica de Contingencia: Esta protección actúa de forma inmediata ante dos escenarios críticos de pérdida de sincronismo.

1. Durante el Régimen de Marcha: Si el motor diésel se encuentra encendido y operativo y se registra una pérdida abrupta de la señal de velocidad (interrupción del flujo de pulsos del captor inductivo), el firmware detiene el motor de forma inmediata.

2. Durante la Secuencia de Arranque: Si al pulsar el botón S- y activarse la salida +GS / -GS y la inminente caída de tensión de la batería por los motores de arranque, el firmware registra una ausencia total de pulsos en el sensor de velocidad en los primeros 4 segundos.

14.21. Degradación Alta Aceite Motor Diésel

ALARMA ALTA PRIORIDAD! **DEGRADACION ALTA** **ACEITE MOTOR DIESEL**

Causa de Disparo: Esta protección del firmware actúa de manera inmediata cuando el sensor inteligente Tan Delta OQSx-G2, conectado a través del puerto CAN Bus 1 exclusivo, determina que el factor de pérdida dieléctrica o degradación molecular del lubricante ha superado el límite de seguridad establecido por el fabricante. Este escenario de falla catastrófica se produce típicamente por la intrusión masiva de agua refrigerante en el circuito de aceite (debido a camisas fisuradas o empaquetaduras rotas), por una dilución severa de gasoil (provocada por inyectores con goteo o cañerías de combustible internas dañadas), o por una oxidación extrema del fluido debido a fatiga térmica prolongada. Al perforarse este umbral químico, el aceite pierde de forma absoluta su capacidad de cuña hidrodinámica.

Para evitar el contacto directo metal contra metal en los cojinetes principales, bielas y bancadas —lo que provocaría el engrane total y la destrucción irreversible del bloque motriz, el motor diésel es detenido.

15.1 Alarmas de Baja Prioridad.

Esta categoría de eventos gestiona las alertas de carácter preventivo y las anomalías de rango leve que, si bien indican una desviación operativa o una degradación en los parámetros normales de funcionamiento, no ponen en peligro inminente la integridad del motor diésel. Ante la activación de un evento de este rango, la máquina de estados implementa una lógica de contingencia que advierte sobre fallas no críticas en el sistema, permitiendo la continuidad de la marcha y la tracción de la locomotora para evitar paradas intempestivas en plena vía; no obstante, en ciertos escenarios específicos, el firmware puede limitar de forma controlada la potencia máxima del motor diésel para garantizar una operación en modo seguro.

En el plano del hardware y HMI, cuando estas alarmas se disparan, la retroiluminación por LED del pulsador de menú destellea de forma intermitente a una frecuencia de 2 Hz y no se activa la salida digital de alarma ALM, manteniendo el relé general de cabina en su estado normal. Asimismo, es posible resetear temporalmente su visualización en pantalla mediante el pulsador de la misma manera que en las alarmas de alta prioridad para poder observar las variables de trabajo del sistema. En el plano del software, los textos de advertencia se presentan en el display en un orden estricto de prioridad de forma completamente automática, anteponiendo siempre la alerta de mayor criticidad preventiva para guiar de manera precisa el diagnóstico del personal técnico.

15.2. Sobrevelocidad Motor Diésel

ALARMA BAJA PRIORIDAD! **SOBREVELOCIDAD** **MOTOR DIESEL**

Causa de Disparo y Lógica de Control: Esta protección del firmware se activa de manera estricta al alcanzar las 980 RPM con el propósito de anticiparse a la actuación del gatillo centrífugo de sobrevelocidad mecánica original de fábrica (el cual corta físicamente el combustible de forma abrupta). Al dispararse, el controlador ejecuta un recorte de máxima precedencia que condena la inyección y lleva la carrera de los servomotores a 0 pulgadas de forma inmediata hasta que el régimen de revoluciones por minuto descienda por debajo de las 900 RPM, momento en el cual el firmware restituye automáticamente el control dinámico de las cremalleras para normalizar la marcha de forma segura y transparente.

15.3. Sensor Alt Open/ Short (Lazo Abierto/ Corto Circuito)

ALARMA BAJA PRIORIDAD! **SENSOR ALT OPEN** **comprobar conexiones** **+ALT y -ALT**	**ALARMA BAJA PRIORIDAD!** **SENSOR ALT SHORT** **comprobar conexiones** **+ALT y -ALT**

Causa de Disparo y Lógica de Contingencia: Estas alertas actúan mediante el algoritmo de autodiagnóstico continuo sobre el lazo del transmisor industrial, aplicando el filtro digital con un retardo de confirmación estricto de 50 ms ante la pérdida de la referencia analógica (condición OPEN por circuito abierto o SHORT por cortocircuito directo a masa). Al quedar el controlador sin la referencia de altitud geográfica real y no poder calcular de forma estequiométrica la densidad del aire en el

mapa de inyección, la máquina de estados aplica un modo de operación segura: se anula el cálculo dinámico por relieve y el firmware limita rígidamente la potencia máxima del motor diésel a un techo estricto de 1500 HP. Este recorte de seguridad impide que el motor sufra sobrecalentamientos o lavados de cilindro por exceso de combustible en caso de encontrarse a gran altura, permitiendo continuar la marcha de forma controlada. El display direcciona al personal a inspeccionar las conexiones físicas en los bornes dedicados +ALT y -ALT.

15.4. Sensor SA Open/ Short (Lazo Abierto/ Corto Circuito)

ALARMA BAJA PRIORIDAD! SENSOR SA OPEN comprobar conexiones +SA y -SA	**ALARMA BAJA PRIORIDAD! SENSOR SA SHORT comprobar conexiones +SA y -SA**

Causa de Disparo y Lógica de Contingencia: Estas alertas se consolidan mediante el algoritmo de autodiagnóstico continuo sobre el lazo del transmisor industrial de 4-20 mA, tras confirmarse la anomalía de forma sostenida por el filtro digital de 50 ms (caída a 3 mA para la condición OPEN o superación de los 28 mA para la condición SHORT). Al perderse por completo la referencia analógica de la presión de sobrealimentación, el mapa multidimensional queda desprovisto del dato clave de masa de aire de admisión, imposibilitando el cálculo estequiométrico seguro para regímenes de alta carga. Ante esta ceguera técnica, la máquina de estados aplica una drástica y segura restricción de contingencia: el firmware limita rígidamente la potencia máxima del motor diésel a un techo estricto de 1200 HP. Esta severa reducción por seguridad impide de manera absoluta que el sistema inyecte un caudal de gasoil excesivo que el motor no pueda quemar por falta de aire (lo que generaría temperaturas destructivas en los escapes y nubarrones de humo negro), permitiendo al maquinista continuar la marcha en modo de emergencia moderada hasta el taller. El display direcciona al personal a inspeccionar las líneas en los bornes dedicados +SA y -SA.

15.5. Sobrecarga Motores Arranque – Enfriando Motores

ALARMA BAJA PRIORIDAD! SOBRECARGA MOTORES ARRANQUE ENFRIANDO MOTORES...

Causa de Disparo y Lógica de Bloqueo: Esta protección del firmware actúa como un escudo térmico activo para los costosos motores de arranque de la locomotora. Cuando se ejecuta un intento de puesta en marcha y los arrancadores operan por un período máximo de 8 segundos sin que el motor diésel logre encender, el módulo desactiva inmediatamente la salida +GS / -GS e inhabilita cualquier nuevo intento de ignición. El sistema mantiene clavada esta alerta en pantalla y fuerza un intervalo de enfriamiento obligatorio e ininterrumpido de 3 minutos. Esta ventana temporal de seguridad resguarda físicamente los bobinados, carbones y delgas del colector contra daños catastróficos por fatiga térmica o sobrecorriente severa, impidiendo que el operador vuelva a energizar el circuito hasta que el calor acumulado en los arrancadores se haya disipado por completo. Transcurridos los 3 minutos, el controlador rehabilita el canal de forma automática para el siguiente ciclo de arranque.

15.6. Error Circuito Heater Sonda Lambda X

ALARMA BAJA PRIORIDAD! ERROR CIRCUITO HEATER SONDA LAMBDA X comprobar +HX y -HX	X=1/2

Causa de Disparo y Lógica de Contingencia: Esta protección del firmware actúa de forma inmediata cuando el lazo de diagnóstico detecta una falta de consumo, circuito abierto o anomalía eléctrica en las líneas de los calefactores dedicados de las sondas. Al no poder alcanzar la temperatura nominal de medición química, el controlador queda imposibilitado para obtener el valor del factor Lambda necesario para el mapa de inyección. La criticidad física de esta falla radica en que operar la sonda en estado frío puede provocar la rotura irreversible de la celda de cerámica debido a los choques térmicos causados por las condensaciones de agua presentes en los gases de escape. Con el objetivo de preservar la disponibilidad operativa, esta alerta no restringirá la potencia del motor diésel, pero conmutará el control de combustible a un modelo matemático de lazo abierto basado en tablas predeterminadas de fábrica, lo que podría comprometer marginalmente la optimización estequiométrica de la combustión.

El display direcciona de forma taxativa al personal técnico a inspeccionar el estado físico y continuidad de los bornes de fuerza identificados como +HX y -HX (+HL / -HL o +HR / -HR).

15.7. Error Circuito Sonda Lambda X

ALARMA BAJA PRIORIDAD! ERROR CIRCUITO SONDA LAMBDA X comprobar +REX, IPNX, APEX, RTX	X=1/2

Causa de Disparo y Lógica de Contingencia: Esta protección del firmware actúa de forma inmediata cuando el hardware detecta un circuito abierto, cortocircuito en las líneas finas de medición y control de la celda de banda ancha. Al interrumpirse la lectura, el mapa multidimensional pierde la capacidad de ajustar la inyección por factor Lambda. Fiel a su filosofía de alta disponibilidad operativa, el sistema no restringe la potencia neta de la locomotora; en su lugar, conmuta de manera transparente a un modelo matemático de lazo abierto basado en tablas predeterminadas de fábrica. Para guiar la resolución rápida en el taller, el display instruye de forma taxativa comprobar de manera física la continuidad y el conexionado de los bornes dedicados de señal en la regleta: +REX (Línea de Referencia), IPNX (Corriente de Bombeo), APEX (Tensión de la Celda) y RTX (Resistencia de Calibración).

15.8. Sensor Fuel Open/ Short (Lazo Abierto/ Corto Circuito)

ALARMA BAJA PRIORIDAD! SENSOR FUEL OPEN comprobar conexiones +FUEL y -FUEL	**ALARMA BAJA PRIORIDAD! SENSOR FUEL SHORT comprobar conexiones +FUEL y -FUEL**

Causa de Disparo y Lógica de Contingencia: Esta alerta actúa gracias al algoritmo de autodiagnóstico continuo sobre el lazo de dos hilos y 4-20 mA del transmisor, aplicando el filtro digital con un retardo de confirmación estricto de 50 ms ante la pérdida de la referencia analógica (caída a 3 mA para la condición OPEN o superación de los 28 mA para la condición

SHORT). Al confirmarse la falla del sensor, la máquina de estados resguarda la disponibilidad del vehículo aplicando un modo de operación segura: la función de cebado automático y la advertencia por baja presión de combustible quedan completamente anuladas por software. Ante la ausencia de esta referencia, el firmware modificará el protocolo de puesta en marcha, habilitando el arranque de la locomotora y la activación de la salida +GS / -GS únicamente después de mantener presionado de forma continua el pulsador de arranque por un período de 20 segundos, utilizando esta ventana de tiempo como un temporizador de purga fijo para garantizar el llenado mecánico de las cañerías antes del giro del cigüeñal. El display direcciona al personal técnico a inspeccionar el estado físico de los bornes dedicados +FUEL y -FUEL.

15.9. Baja Presión Combustible Motor Diésel

ALARMA BAJA PRIORIDAD! BAJA PRESION COMBUST. MOTOR DIESEL

Causa de Disparo y Lógica de Control: Esta protección del firmware se activa de manera automática cuando la presión de combustible medida a la salida de los filtros secundarios desciende por debajo del umbral de 11 PSI, umbral validado por el filtro digital tras sostenerse de forma continua por un lapso superior a los 50 ms para evitar falsos disparos por pulsaciones transitorias en la cañería. Esta condición de baja presión advierte sobre anomalías que pueden causar oscilaciones en el régimen de revoluciones o una falta de potencia notoria en el motor diésel, habitualmente provocadas por filtros de gasoil tapados o desgaste en la bomba de transferencia eléctrica.

15.10. Degradación Baja/ Media Aceite Motor Diésel

ALARMA BAJA PRIORIDAD! DEGRADACION BAJA ACEITE MOTOR DIESEL	ALARMA BAJA PRIORIDAD! DEGRADACION MEDIA ACEITE MOTOR DIESEL

Causa de Disparo y Lógica de Contingencia: Estas alertas actúan mediante el procesamiento continuo de las tramas de lazo digital del sensor de calidad de aceite, aplicando el filtro digital con un retardo de confirmación estricto de 50 ms para anular ruidos transitorios.

• La leyenda DEGRADACION BAJA se consolida cuando el factor de pérdida dieléctrica indica que la vida útil remanente del lubricante ha perforado el primer umbral preventivo de fábrica, advirtiendo sobre una fatiga térmica ordinaria o trazas mínimas de contaminación en el cárter.

• La leyenda DEGRADACION MEDIA se activa cuando el deterioro molecular avanza de forma sostenida hacia el segundo umbral crítico de control, delatando una dilución incipiente por gasoil o intrusión moderada de agua refrigerante que empieza a comprometer la viscosidad estructural del fluido.

16.1. Calibración y Puesta a Punto de los Inyectores (CALIB INY)

Para garantizar la perfecta simetría cinemática y la repetitividad milimétrica en el accionamiento de los servomotores trifásicos puros montados directamente sobre las barras de inyección, el firmware implementa un modo de servicio guiado de taller. Este protocolo permite realizar el reglaje y alineación física de las cremalleras mecánicas estructurándose bajo las siguientes condiciones de seguridad:

• Condición de Inicialización: El procedimiento se activa de forma automática cuando el motor diésel se encuentra completamente detenido por un período continuo mayor a 60 segundos. Al validarse este estado de reposo, el controlador toma el mando de los actuadores trifásicos y bloquea rígidamente los servomotores en una posición de carrera fija e inalterable de exactamente 1 pulgada de inyección, sirviendo como el patrón de referencia absoluto de fábrica para que el mecánico calibre las varillas, horquillas y topes de los inyectores de ambos bancos.

• Protocolo Obligatorio de Seguridad: Con el propósito de resguardar la integridad física del personal técnico frente a arranques accidentales durante las tareas mecánicas dentro del bloque del motor, es una condición obligatoria y mandataria retirar físicamente el fusible principal de arranque del tablero eléctrico de la locomotora antes de comenzar a manipular las cremalleras.

• Restitución Operativa y Autoreset: Una vez finalizada la puesta a punto física en el motor, al insertar nuevamente el fusible de arranque y aplicar la señal de arranque por la entrada digital dedicada S-, el sistema anula de forma automática el modo de calibración y regresa instantáneamente a su operación común de marcha, liberando las cremalleras para iniciar la secuencia segura de cebado automático.

16.2. Calibración del Gatillo de Sobrevelocidad Mecánica (CALIB Sve)

Para verificar y ajustar con total precisión el mecanismo centrífugo original de resguardo mecánico contra embalamiento de fábrica, el firmware incorpora una rutina especializada de sobrevelocidad controlada para ajuste en taller. El protocolo se ejecuta de forma rigurosa bajo los siguientes pasos técnicos secuenciales:

• Prerrequisito Térmico: El motor diésel debe encontrarse previamente en marcha estable y haber alcanzado su régimen térmico nominal de trabajo (temperatura de aceite superior a los 60 °C verificada en el display), asegurando que la viscosidad del lubricante y las holguras metalúrgicas sean las adecuadas para el ensayo a altas revoluciones.

• Habilitación del Modo de Servicio en la Capa Física: Con el motor encendido, el personal de taller debe energizar de forma externa la entrada digital de arranque S- intercalando obligatoriamente una resistencia limitadora de 100 Ω con una disipación de potencia mínima de 1 W. Esta configuración de impedancia en lazo funciona como un fusible electrónico de seguridad para evitar cortocircuitos directos y habilitar el puente de conmutación especial que el firmware interpreta como la orden de ingreso al modo CALIB Sve.

• Secuencia de Ensayo Dinámico a 1050 RPM: Una vez establecido el puente en la entrada, se debe desplazar la palanca de aceleración del combinador de cabina de forma directa hasta el Punto 8 en vacío. En ese instante, el controlador llevará el régimen del motor diésel a un techo estricto de 1050 RPM durante una ventana temporal fija de exactamente 3

segundos. Este intervalo es térmicamente seguro y físicamente suficiente para forzar la actuación mecánica del trinquete del gatillo centrífugo original.

• Lógica de Reciclado de Ensayos y Salida: En caso de que el trinquete requiera reajustes y se necesite repetir la prueba de revoluciones, el firmware implementa una lógica de reciclado dinámico: el operador debe descender la palanca de aceleración al Punto 7 y volver a subir inmediatamente al Punto 8, acción combinatoria que reinicia el temporizador y vuelve a soltar la rampa controlada de 1050 RPM por otros 3 segundos. Una vez finalizada formalmente la calibración en el banco de pruebas, se debe retirar físicamente el puente resistivo de alimentación de la entrada digital S- para devolver al sistema a sus curvas automáticas de protección estándar de marcha.

17.1. Configuración de Switches de Terminación de Nodos (Redes CAN Bus)

Para garantizar la máxima integridad en la transmisión de datos digitales y evitar de forma absoluta las reflexiones de las señales de comunicación de alta velocidad en el entorno ferroviario, todos los nodos del ecosistema disponen de un switch físico para intercalar una resistencia de terminación de 120 Ω al final del bus.

El Panel Diesel Controller incorpora dos switches independientes dispuestos lateralmente en el gabinete, ubicados en la proximidad inmediata de cada conector de red CAN dedicado. La calibración de estos interruptores en la capa física debe realizarse bajo los siguientes criterios estrictos de ingeniería de campo:

• Switch CAN Bus 1 (Lazo Cerrado OQSx-G2): Debe conmutarse a la posición ON únicamente cuando el Panel Diesel Controller actúe físicamente como el extremo final de la línea en el lazo prioritario del sensor inteligente de calidad de aceite Tan Delta. De lo contrario, si la red continúa hacia otra derivación blindada, debe permanecer en OFF.

• Switch CAN Bus 2 (Red de Expansión Modular): Debe conmutarse a la posición ON cuando el controlador represente el último nodo físico de la autopista de expansión distribuida (por ejemplo, en configuraciones lineales donde se enlaza de extremo a extremo con el Panel GP Controller de Control de Excitación o los módulos de telemetría de cabina).

La correcta conmutación a ON de estos switches de terminación de línea estabiliza la impedancia diferencial del bus en microsegundos, disipando la energía residual de los flancos de subida y bajada de los bits de datos para blindar la red contra el ruido electromagnético severo de los alternadores principales de la locomotora.

