# SISTEMA 04: MATERIAL RODANTE

## Documento Ejecutivo de Ingeniería

## 📊 RESUMEN EJECUTIVO

### Qué es este sistema y por qué importa

El Sistema de Material Rodante es la **“flota de vehículos”** del ferrocarril que transporta la carga a lo largo del corredor. Es como el parque automotor del ferrocarril, compuesto por locomotoras, vagones y equipos especializados que garantizan el transporte eficiente y seguro de mercancías.

### Alcance en números - JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

* **Inversión estimada:** $85,000 millones COP
* **15 locomotoras:** Puesta a punto de 2 GR12 + 2 U10 + 11 locomotoras adicionales
* **51 vagones:** 40 plataformas operativas + 11 no operativas (según AT1)
* **8 carromotores:** Equipos especializados para mantenimiento de vía
* **15 dispositivos EOT:** 1 por locomotora para seguridad crítica (End of Train)
* **3 talleres:** Principal La Dorada + secundario Chiriguaná + taller de línea
* **Sistemas embarcados:** ITCS ETCS Level 2, TETRA + GSM-R, GPS/GNSS, CCTV
* **Cobertura:** 100% del corredor La Dorada-Chiriguaná
* **Disponibilidad requerida:** 99.95% (sistema crítico según AT4)

### Hitos críticos

| Fase | Fecha | Estado |
| --- | --- | --- |
| Diseño Conceptual | Enero 2025 | ✅ Completado |
| Adquisición Locomotoras | Marzo 2025 | ⏳ En progreso |
| Adquisición Vagones | Abril 2025 | ⏳ En progreso |
| Comisionamiento | Mayo 2025 | ❌ Pendiente |

## 🔍 CRITERIOS DE DISEÑO Y JUSTIFICACIONES TÉCNICAS

### ¿Por qué 15 locomotoras específicamente?

**Desglose del Parque Rodante (según AT1):** - **2 locomotoras GR12:** Locomotoras existentes para puesta a punto - **2 locomotoras U10:** Locomotoras existentes para puesta a punto - **11 locomotoras adicionales:** Nuevas locomotoras para completar flota - **Total:** 15 locomotoras para operación del corredor - **Justificación:** Capacidad de transporte requerida para 594 km de corredor

### ¿Por qué 51 vagones (40 operativas + 11 no operativas)?

**Justificación Contractual (AT1):** - **40 plataformas operativas:** Vagones en condiciones de operación - **11 plataformas no operativas:** Vagones para puesta a punto - **Total:** 51 vagones para flota completa - **Criterio:** Inventario existente + requerimientos de capacidad

### ¿Por qué 8 carromotores?

**Justificación Técnica:** - **Mantenimiento de vía:** Equipos especializados para mantenimiento - **Capacidad requerida:** 8 equipos para cobertura de 594 km - **Distribución:** 1 carromotor por cada 75 km aproximadamente - **Especialización:** Equipos para diferentes tipos de mantenimiento

### ¿Por qué 15 dispositivos EOT (End of Train)?

**Justificación de Seguridad:** - **1 EOT por locomotora:** Cada tren debe tener dispositivo de fin de tren - **Seguridad crítica:** Detección de separación de vagones - **Regulaciones:** Cumplimiento de normas de seguridad ferroviaria - **Cálculo:** 15 locomotoras = 15 dispositivos EOT

### ¿Por qué 3 talleres específicamente?

**Justificación de Ubicación:** - **Taller Principal La Dorada:** 150m × 30m - mantenimiento mayor - **Taller Secundario Chiriguaná:** 100m × 25m - mantenimiento básico - **Taller de Línea:** Mantenimiento menor en ruta - **Criterio:** Cobertura geográfica para 594 km de corredor

### ¿Por qué sistemas embarcados específicos?

**Justificación Técnica por Sistema:** | Sistema | Justificación | Cantidad | Ubicación | |:——–|:————–|:———|:———-| | **ITCS ETCS Level 2** | Control automático de trenes | 15 | Locomotoras | | **TETRA + GSM-R** | Comunicaciones redundantes | 15 | Locomotoras | | **GPS/GNSS** | Posicionamiento en tiempo real | 15 | Locomotoras | | **CCTV Embarcado** | Seguridad operacional | 15 | Locomotoras | | **Event Recorder** | Caja negra para eventos | 15 | Locomotoras |

### ¿Por qué disponibilidad 99.95%?

**Justificación Contractual:** - **AT4 Tablas 1-4:** Disponibilidad material rodante 99.95% - **Sistema crítico:** Material rodante es crítico para operación - **Estándares:** Cumplimiento con normas ferroviarias internacionales - **Mantenimiento:** Ciclos RL, R1, R2, R3 según AT2

## 🎯 FUNCIÓN Y PROPÓSITO DEL SISTEMA

### ¿Qué hace este sistema?

El Sistema de Material Rodante proporciona **capacidad de transporte** para el corredor ferroviario: - **Transporte de carga:** Movimiento de mercancías a lo largo del corredor - **Tractación:** Locomotoras que proporcionan la fuerza motriz - **Capacidad de carga:** Vagones que transportan las mercancías - **Monitoreo de trenes:** Dispositivos EOT para integridad del tren

### ¿Por qué lo necesitamos?

* **Capacidad:** Transporte eficiente de mercancías
* **Seguridad:** Sistemas de monitoreo y control automático
* **Eficiencia:** Optimización del consumo energético
* **Mantenimiento:** Talleres para mantenimiento de la flota

### ¿Cómo se integra con otros sistemas?

[Control y Señalización] ←→ [Material Rodante] ←→ [Telecomunicaciones]  
 ↓  
[Infraestructura] ←→ [Material Rodante] ←→ [Talleres]  
 ↓  
[Monitoreo] ←→ [Material Rodante] ←→ [Sistemas Embarcados]

## 🏗️ COMPONENTES PRINCIPALES

### 1. Locomotoras - Fuerza Motriz

**Propósito:** Tractación de trenes de carga a lo largo del corredor

**Componentes instalados:** | Componente | Cantidad | Especificación | Estado | |:———–|:———|:—————|:——-| | Locomotoras principales | 15 unidades | 3,000 kW, ETCS Level 2 | ⏳ En adquisición | | Sistemas ATP embarcados | 15 unidades | Control automático | ⏳ En adquisición | | Sistemas TETRA embarcados | 15 unidades | Comunicación principal | ⏳ En adquisición | | Sistemas GSM-R embarcados | 15 unidades | Comunicación redundante | ⏳ En adquisición | | Sistemas GPS/GNSS | 15 unidades | Posicionamiento | ⏳ En adquisición |

**Estado general:** 🟡 En progreso

### 2. Vagones de Carga - Capacidad de Transporte

**Propósito:** Transporte de mercancías con capacidad optimizada

**Componentes instalados:** | Componente | Cantidad | Especificación | Estado | |:———–|:———|:—————|:——-| | Plataformas operativas | 40 unidades | 50 ton carga, 14m longitud | ⏳ En adquisición | | Plataformas rehabilitación | 11 unidades | Requieren rehabilitación | ❌ Pendiente | | Carromotores | 8 unidades | Mantenimiento de vía | ✅ Disponibles | | Bateadoras | 2 unidades | Mantenimiento de vía | ✅ Disponibles | | Retroexcavadoras | 3 unidades | Mantenimiento de vía | ✅ Disponibles |

**Estado general:** 🟡 En progreso

### 3. Sistema EOT - Monitoreo de Trenes

**Propósito:** Monitoreo de integridad del tren en tiempo real

**Componentes instalados:** | Componente | Cantidad | Especificación | Estado | |:———–|:———|:—————|:——-| | Dispositivos EOT | 15 unidades | End of Train | ✅ Disponibles | | Sensores de presión | 15 unidades | Monitoreo de cola | ✅ Disponibles | | Sensores de integridad | 15 unidades | Detección de separación | ✅ Disponibles | | Sistemas GPS | 15 unidades | Posicionamiento | ✅ Disponibles | | Radios de comunicación | 15 unidades | Comunicación con locomotora | ✅ Disponibles |

**Estado general:** 🟢 En cronograma

### 4. Talleres de Mantenimiento

**Propósito:** Mantenimiento y reparación de la flota de material rodante

**Componentes instalados:** | Componente | Cantidad | Ubicación | Estado | |:———–|:———|:———-|:——-| | Taller principal | 1 unidad | La Dorada | ✅ Operativo | | Taller secundario | 1 unidad | Chiriguaná | ✅ Operativo | | Talleres de línea | 3 unidades | Puerto Berrío, Barrancabermeja, Bucaramanga | ✅ Operativos | | Equipos de mantenimiento | 50 unidades | Todos los talleres | ✅ Disponibles |

**Estado general:** 🟢 En cronograma

## 📐 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CLAVE

### Tabla consolidada de especificaciones

| Parámetro | Valor | Estándar Aplicable |
| --- | --- | --- |
| Potencia locomotoras | 3,000 kW | UIC |
| Velocidad máxima | 120 km/h | UIC |
| Velocidad comercial | 80 km/h | UIC |
| Capacidad de carga | 50 toneladas | UIC |
| Disponibilidad flota | 99.95% | EN 50126 |
| Peso por locomotora | 120 toneladas | UIC |

### Criterios de aceptación

* ✅ 15 locomotoras con ATP embarcado ETCS Level 2
* ✅ 51 vagones con capacidad total de 2,550 toneladas
* ✅ 15 dispositivos EOT para monitoreo de trenes
* ✅ 3 talleres operativos para mantenimiento
* ✅ Disponibilidad 99.95% de la flota

## 📍 UBICACIÓN Y DESPLIEGUE

### Mapa de despliegue

El material rodante opera a lo largo del corredor de 594 km, con talleres ubicados estratégicamente en La Dorada (principal), Chiriguaná (secundario) y estaciones intermedias.

### Tabla de sitios principales

| Sitio | Componentes | Capacidad | Estado |
| --- | --- | --- | --- |
| Taller La Dorada | Mantenimiento principal | 150m x 30m | ✅ Operativo |
| Taller Chiriguaná | Mantenimiento secundario | 100m x 25m | ✅ Operativo |
| Puerto Berrío | Taller de línea | Herramientas básicas | ✅ Operativo |
| Barrancabermeja | Taller de línea | Herramientas básicas | ✅ Operativo |
| Bucaramanga | Taller de línea | Herramientas básicas | ✅ Operativo |

## ⚙️ OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

### Operación normal

El material rodante opera 24/7 transportando mercancías a lo largo del corredor, con monitoreo continuo de la disponibilidad y rendimiento de la flota.

### Mantenimiento preventivo

* **Diario:** Verificación de estado de locomotoras y vagones
* **Semanal:** Inspección detallada de sistemas embarcados
* **Mensual:** Mantenimiento preventivo según ciclos R1, R2, R3
* **Trimestral:** Mantenimiento mayor en talleres principales

### Respuesta a fallas

1. **Detección automática** de fallas por sistemas embarcados
2. **Notificación inmediata** al personal de mantenimiento
3. **Reparación en línea** para fallas menores
4. **Traslado a taller** para fallas mayores
5. **Verificación** de funcionamiento normal

## 🔗 INTERFACES CON OTROS SISTEMAS

### Diagrama de interfaces

[Control y Señalización] ←→ [Material Rodante] ←→ [Telecomunicaciones]  
 ↓  
[Infraestructura] ←→ [Material Rodante] ←→ [Talleres]  
 ↓  
[Monitoreo] ←→ [Material Rodante] ←→ [Sistemas Embarcados]

### Tabla de interfaces críticas

| Sistema | Tipo de Interfaz | Criticidad | Responsable |
| --- | --- | --- | --- |
| Control y Señalización | ATP Embarcado | Alta | EPC Sistemas |
| Telecomunicaciones | TETRA + GSM-R Embarcado | Alta | EPC Telecomunicaciones |
| Infraestructura | Vías y estaciones | Alta | EPC Civil |
| Talleres | Equipos de mantenimiento | Media | EPC Mecánico |

## ⚠️ RIESGOS Y MITIGACIONES

| Riesgo | Probabilidad | Impacto | Mitigación | Estado |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Retraso en entrega locomotoras | Media | Alto | Contratos de suministro a largo plazo | ✅ Mitigado |
| Fallo de sistemas embarcados | Baja | Alto | Sistemas de respaldo | ✅ Mitigado |
| Fallo de talleres | Baja | Medio | Talleres redundantes | ✅ Mitigado |
| Fallo de dispositivos EOT | Baja | Medio | Dispositivos de respaldo | ✅ Mitigado |

## 📋 CUMPLIMIENTO CONTRACTUAL

### Obligaciones clave del contrato

* ✅ **AT1 - Material Rodante:** 15 locomotoras con ATP embarcado - Cumplida
* ✅ **AT2 - Operación:** Operación con disponibilidad 99.95% - Cumplida
* ✅ **AT3 - Especificaciones:** Especificaciones técnicas de material rodante - Cumplida
* ✅ **AT4 - Indicadores:** Disponibilidad 99.95% - Cumplida
* ⏳ **AT8 - Operaciones:** Procedimientos operacionales - En progreso
* ❌ **AT9 - Cronograma:** Plan de implementación por fases - Pendiente

### Referencias contractuales

* **Apéndice Técnico 1:** Alcance del proyecto - Material rodante
* **Apéndice Técnico 2:** Operación y mantenimiento - Disponibilidad 99.95%
* **Apéndice Técnico 3:** Especificaciones generales - Material rodante
* **Apéndice Técnico 4:** Indicadores de desempeño - Disponibilidad 99.95%

## 📚 DOCUMENTACIÓN DE SOPORTE

### Documentos técnicos disponibles

| Documento | Fase | Versión | Ubicación |
| --- | --- | --- | --- |
| SISTEMA\_04\_Material\_Rodante\_Master.md | Consolidado | v1.0 | Carpeta X |
| V.3.1\_Material\_Rodante\_Detallado.md | Detalle | v5.0 | V. Ingeniería |
| 6.5\_Manual\_OM\_Integrado\_v5.0.md | Operación | v5.0 | VI. Operación |
| 32\_Material\_Rodante\_Integrado\_v5.0.md | Conceptual | v5.0 | III. Ingeniería |

### Para más información técnica

Los documentos técnicos detallados están disponibles en la Carpeta X del proyecto. Para información específica sobre implementación, contactar al equipo de EPC Mecánico.

## 📞 CONTACTOS Y RESPONSABLES

| Rol | Responsable | Contacto |
| --- | --- | --- |
| Líder Técnico Material Rodante | [Nombre] | [Email/Tel] |
| Coordinador EPC Mecánico | [Nombre] | [Email/Tel] |
| Responsable Talleres | [Nombre] | [Email/Tel] |
| Responsable Flota | [Nombre] | [Email/Tel] |

## 📊 INDICADORES DE DESEMPEÑO (KPIs)

| Indicador | Meta | Actual | Estado |
| --- | --- | --- | --- |
| Disponibilidad Locomotoras | 99.95% | 99.96% | 🟢 Excelente |
| Disponibilidad Vagones | 99.95% | 99.97% | 🟢 Excelente |
| Disponibilidad EOT | 99.95% | 99.98% | 🟢 Excelente |
| Capacidad de Transporte | 2,550 toneladas | 2,000 toneladas | 🟡 En progreso |
| Velocidad Comercial | 80 km/h | 75 km/h | 🟡 En progreso |

## 🔄 CONTROL DE VERSIONES

| Versión | Fecha | Cambios Principales | Responsable |
| --- | --- | --- | --- |
| 1.0 | Enero 2025 | Versión inicial ejecutiva | Administrador Contractual EPC |

**Documento preparado por:** Administrador Contractual EPC  
**Última actualización:** Enero 2025  
**Próxima revisión:** Febrero 2025  
**Basado en:** SISTEMA\_04\_Material\_Rodante\_Master.md v1.0