

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**ANÁLISIS DE CRITICIDAD A BANCOS DINAMOMÉTRICOS CON
PROCEDIMIENTO ASM Y ANALIZADOR DE GASES UTILIZADOS EN
PLANTA DE REVISIÓN TÉCNICA DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN.**

Trabajo de titulación para optar al título de
INGENIERO EN MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL.

Nombre del alumno:
DIEGO IGNACIO LIZAMA VARGAS

Nombre profesor guía:
CARLOS BORIS GARAY BURGOS



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: ANÁLISIS DE CRITICIDAD A BANCOS DINAMOMÉTRICOS CON PROCEDIMIENTO ASM Y ANALIZADOR DE GASES UTILIZADOS EN PLANTA DE REVISIÓN TÉCNICA DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN

Nombre del candidato(a): Diego Ignacio Lizama Vargas

Carrera / Grado: INGENIERIA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

SEDE CONCEPCION

Campus: _____ Departamento: DEPARTAMENTO DE MECANICA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Garay, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 09/01/2026

Firma: _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 09/01/2026

Firma: _____

RESUMEN

El banco dinamométrico con procedimiento ASM y el analizador de gases son componentes esenciales en las plantas de revisión técnica, ya que posibilitan la evaluación de las emisiones de gases de los vehículos según las regulaciones establecidas por el ministerio de transportes y telecomunicaciones (MTT). La falta de disponibilidad o el deterioro de estos equipos repercute directamente en la continuidad del servicio, el cumplimiento normativo vigente. En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo realizar un análisis de criticidad enfocado en el banco dinamométrico ASM y el analizador de gases empleados en una planta de revisión técnica ubicada en Concepción, región del Biobío, con el propósito de identificar los componentes críticos que comprometen su funcionamiento. A través de la caracterización de los equipos desarrollando un análisis de criticidad, se busca desarrollar un plan de mantenimiento preventivo que permita optimizar las intervenciones, además de evaluar el impacto económico que existe cuando fallan elementos críticos del sistema de medición de emisiones (dinamómetro ASM y analizador de gases).

ÍNDICE

| | |
|---|----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS | 2 |
| OBJETIVO GENERAL | 2 |
| OBJETIVOS ESPECIFICOS | 2 |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ANÁLISIS | 3 |
| 1.1 CONTEXTO OPERACIONAL DE UNA PLANTA DE REVISIÓN TÉCNICA..... | 4 |
| 1.2 ESTADÍSTICAS DE UNA PLANTA DE REVISIÓN TÉCNICA | 5 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS..... | 6 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1 MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES | 8 |
| 2.1.1 Reseña institucional..... | 8 |
| 2.1.2. Programa nacional de fiscalización..... | 8 |
| 2.1.3. Normativa y regulación..... | 8 |
| 2.2 PLANTA DE REVISIÓN TÉCNICA..... | 9 |
| 2.2.1. Emisiones de gases..... | 9 |
| 2.2.2. Normativa nacional de las emisiones de gases..... | 10 |
| 2.2.3. Procedimiento ASM..... | 11 |
| | 12 |
| 2.3. DINAMÓMETRO DE CHASIS CON PROCEDIMIENTO ASM..... | 12 |
| 2.4. EQUIPO DINAMOMÉTRICO CON PROCEDIMIENTO ASM A ANALIZAR..... | 14 |
| 2.4.1. Sistema del dinamómetro | 14 |
| 2.4.2 Sistema de control y monitoreo..... | 15 |
| 2.4.3 Subsistema de control y monitoreo | 16 |
| 2.4.4 Principio de funcionamiento del dinamómetro | 17 |
| 2.5 ANALIZADOR DE GASES..... | 18 |
| 2.5.1 Especificaciones del analizador de gases | 19 |
| 2.5.2 Tiempo de respuesta del analizador..... | 20 |
| 2.5.3 Calibración de rutina | 20 |

| | |
|---|-----------|
| 2.5.4. Sistema de muestreo | 21 |
| 2.5.5 Principio de funcionamiento del analizador de gases | 22 |
| 2.6 MANTENIMIENTO | 22 |
| 2.6.1 Tipos de mantenimiento | 22 |
| 2.7 DIAGRAMA DE ISHIKAWA..... | 25 |
| 2.8 ANÁLISIS DE CRITICIDAD..... | 26 |
| 2.9 DIAGRAMA DE PARETO | 26 |
| CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y MEJORA..... | 27 |
| CONTINUA | 27 |
| 3.1 INTRODUCCIÓN Y BASES PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD | 28 |
| 3.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD A BANCO DINAMOMÉTRICO | 31 |
| 3.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO DE BANCO DINAMOMÉTRICO | 32 |
| 3.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD A ANALIZADOR DE GASES | 33 |
| 3.5 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA BANCO DINAMOMÉTRICO..... | 34 |
| 3.5.1 Puntos de engrase a piezas de banco dinamométrico | 34 |
| 3.5.2 Mantenimiento preventivo a unidad de absorción de potencia (PAU)..... | 35 |
| 3.5.3 Limpieza y prevención de la corrosión | 37 |
| 3.5.4 Tabla de mantenimiento preventivo por tiempo..... | 38 |
| 3.5.5 Tabla de solución de problemas del banco dinamométrico..... | 39 |
| 3.6 PROCEDIMIENTOS DE MANTENCIÓN Y VERIFICACIÓN PARA ANALIZADOR DE GASES | 42 |
| 3.6.1 Proceso de mantención y verificación diario..... | 42 |
| 3.6.2 Proceso de mantención y verificación cada 2 días | 43 |
| 3.6.3 Proceso de mantención y verificación semanal..... | 43 |
| 3.6.4 Proceso de mantención y verificación mensual..... | 43 |
| 3.7 DIAGRAMA DE PARETO | 43 |
| 3.7.1 Diagrama de Pareto a banco dinamométrico..... | 44 |
| 3.7.2 Diagrama de Pareto a sistema de control y monitoreo de banco dinamométrico | |

| | |
|---|-----------|
| | 45 |
| 3.7.3 Diagrama de Pareto a analizador de gases..... | 45 |
| 3.8 DIAGRAMA DE ISHIKAWA..... | 46 |
| CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN ECÓNOMICA | 47 |
| 4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PLANTA DE REVISIÓN TÉCNICA.... | 48 |
| CONCLUSIÓN..... | 51 |
| BIBLIOGRAFÍA | 52 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1- 1: Diagrama revisión técnica clase B..... | 4 |
| Figura 1- 2: Cantidad de atenciones representativas en PRT Concepción mes de septiembre | 5 |
| Figura 1- 3: Total atenciones mes septiembre PRT Concepción..... | 5 |
| Figura 1- 4: Proceso de fiscalización en planta de revisión técnica | 6 |
| | |
| Figura 2- 1: Vehículo en proceso de medición de gases | 12 |
| Figura 2- 2: Equipo en funcionamiento en medición de gases método 5015..... | 13 |
| Figura 2- 3: Vehículo en prueba de procedimiento ASM | 13 |
| Figura 2- 4: Componentes de banco dinamométrico..... | 14 |
| Figura 2- 5: Componentes de sistema de control y monitoreo de banco dinamométrico. | 15 |
| Figura 2- 6: Componentes de subsistema de control y monitoreo de banco dinamométrico. | 16 |
| Figura 2- 7: Vehículo sobre los rodillos en prueba de emisiones de gases | 17 |
| Figura 2- 8: Dinamómetro utilizado en PRT Concepción. | 18 |
| Figura 2- 9: Interior de analizador de gases | 18 |
| Figura 2- 10: Instrumentos necesarios para analizador de gases..... | 21 |
| Figura 2- 11: Ejemplo de diagrama Ishikawa 6M..... | 25 |
| Figura 2- 12: Ejemplo de diagrama de Pareto..... | 26 |
| | |
| Figura 3 - 1: Bancada junto con rodamiento del banco dinamométrico..... | 34 |
| Figura 3 - 2: PAU de banco dinamométrico..... | 35 |
| Figura 3 - 3: Acoplamiento entre ejes del banco dinamométrico..... | 35 |
| Figura 3 - 4:Metodo de inspección a PAU de banco dinamométrico..... | 36 |
| Figura 3 - 5: Galga de espesores | 36 |
| Figura 3 - 6: Componentes PAU de banco dinamométrico..... | 37 |
| Figura 3 - 7: Pantalla de monitoreo de analizador de gases | 42 |
| Figura 3 - 8: Diagrama de Pareto a banco dinamométrico. | 44 |
| Figura 3 - 9: Diagrama de Pareto a sistema de control y monitoreo. | 45 |
| Figura 3 - 10: Diagrama de Pareto a analizador de gases | 45 |
| Figura 3 - 11: Diagrama de Ishikawa | 46 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Valores admisibles analizador de gases | 19 |
| Tabla 2: Análisis de criticidad a banco dinamométrico..... | 32 |
| Tabla 3: Análisis de criticidad de sistema de control y monitoreo de banco dinamométrico. | 32 |
| Tabla 4: Análisis de criticidad a analizador de gases | 33 |
| Tabla 5: Tabla de mantenimiento preventivo por tiempo..... | 38 |
| Tabla 6: Solución de problemas para conjunto de rodillos de banco dinamométrico. | 39 |
| Tabla 7: Solución de problemas para sistema de elevación de aire de banco dinamométrico..... | 41 |
| Tabla 8: Solución de problemas operacionales del banco dinamométrico..... | 41 |
| Tabla 9: Inversión a equipos de medición de gases..... | 48 |
| Tabla 10: Valores económicos del mes de noviembre 2025..... | 49 |
| Tabla 11: Valores económicos del mes de octubre 2025..... | 49 |
| Tabla 12: Valores económicos mes de septiembre 2025..... | 50 |
| Tabla 13: Valores económicos del mes de junio 2025..... | 50 |

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

ASM: Accelerated simulated mode (modo de simulación acelerada).

MTT: Ministerio de transporte y telecomunicaciones.

PRT: Planta de revisión técnica.

R.P.M: Revoluciones por minuto.

HP: Horse power (caballos de fuerza).

MPH: Millas por hora.

ISO: International organization for standardization (organización internacional de normalización).

DS: Decreto supremo.

CO: Monóxido de carbono.

CO₂: Dióxido de carbono.

HC: Hidrocarburos.

NO_x: Óxidos de nitrógeno.

CC: Corriente continua.

VCC: Voltaje de alimentación de circuito.

CLP: Peso chileno.

IVA: Impuesto al valor agregado.

mm: Milímetros.

Lb: Libras.

Inch: Pulgadas.

Km/h: Kilómetros por hora.

%: Porcentaje.

INTRODUCCIÓN

Las plantas de revisión técnica tienen por objetivo comprobar si los vehículos cumplen con los requisitos mínimos de seguridad, de emisiones de gases y funcionamiento mecánico, para así contribuir a la disminución de los accidentes de tránsito y la contaminación ambiental establecidos por la normativa vigente decretada por el ministerio de transporte y telecomunicaciones (MTT). Entre los equipos clave en este proceso, destacan el banco dinamométrico para el procedimiento ASM y el analizador de gases, considerados elementos esenciales al realizar simulación de condiciones controladas de carga y la medición de factores esenciales vinculados al rendimiento del motor y el control de emisiones.

El funcionamiento continuo de estos dispositivos resulta fundamental para mantener la capacidad operativa diaria de la planta, garantizar la trazabilidad de los resultados y cumplir con las normativas vigentes del ministerio de transportes y telecomunicaciones (MTT). No obstante, factores como las exigentes condiciones de uso, el desgaste natural de sus componentes mecánicos y electrónicos, y posibles deficiencias en la gestión del mantenimiento pueden ocasionar fallas que afecten la disponibilidad tanto del banco dinamométrico como del analizador de gases. Estas interrupciones generan tiempos de inactividad, incumplimientos normativos y pérdidas económicas para la planta.

En este contexto, el análisis de criticidad se perfila como una herramienta apropiada para evaluar los riesgos y respaldar las decisiones de mantenimiento al evaluar tanto la probabilidad de ocurrencia de las fallas como sus efectos sobre la continuidad del servicio.

Este estudio tiene como objetivo realizar un análisis de criticidad del banco dinamométrico con procedimiento ASM y del analizador de gases empleado en una planta de revisión técnica ubicada en la ciudad de Concepción, región de Biobío. En primera instancia, definiendo el funcionamiento y las condiciones operativas de ambos equipos en concordancia con la normativa vigente del MTT. Posteriormente, se implementa una metodología orientada a identificar y priorizar los riesgos asociados a los principales modos de falla. Con base en este análisis, se desarrolla un plan preventivo que organiza eficientemente las intervenciones necesarias y se evalúa el impacto económico por fallas de componentes críticos del sistema de medición de emisiones (banco dinamométrico ASM y analizador de gases).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un análisis de criticidad de un banco dinamométrico con procedimiento ASM y analizador de gases utilizado en plantas de revisión técnica, para identificar y priorizar los riesgos que afectan su operación, asegurando la disponibilidad requerida para cumplir con la normativa exigida por el ministerio de transporte y telecomunicaciones.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Describir el funcionamiento de un banco dinamométrico para uso de procedimiento ASM y analizador de gases, especificando sus condiciones de operación de acuerdo con la normativa vigente.
- Determinar análisis de criticidad aplicable al banco dinamométrico con procedimiento ASM y analizador de gases que se utiliza en plantas de revisión técnica.
- Definir plan de mantenimiento preventivo que permita organizar las intervenciones de forma eficiente según el fabricante.
- Evaluar el impacto económico asociado a la falla de elementos críticos del sistema de medición de emisiones (dinamómetro ASM y analizador de gases).

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ANÁLISIS

1.1 CONTEXTO OPERACIONAL DE UNA PLANTA DE REVISIÓN TÉCNICA

Una planta de revisión técnica es un ente regulador concesionada que verifica, bajo normas del ministerio de transporte y telecomunicaciones, la seguridad y las emisiones de gases de los vehículos en uso en nuestro país.

La operación típica fluye así: recepción y validación de los documentos del vehículo, ingreso a línea, luego circuito de estaciones instrumentadas: frenos, suspensión/alineación, visuales, holguras, luces, sonómetro cuando aplica, y control de emisiones (opacidad en vehículos diésel y, para bencineros, prueba en dinamómetro con procedimiento ASM cuando corresponde).

Todo lo medido queda trazado en un sistema informático; los equipos están calibrados y operados por personal certificado. Al final, el vehículo obtiene un resultado (aprobado o rechazado con indicación de fallas), y si hay rechazos se entrega un informe para corregir y volver a reinspección dentro del plazo establecido. El objetivo es asegurar que lo que circula sea seguro y no exceda los límites ambientales, manteniendo continuidad operativa con mantenciones y calibraciones programadas de los equipos involucrados.

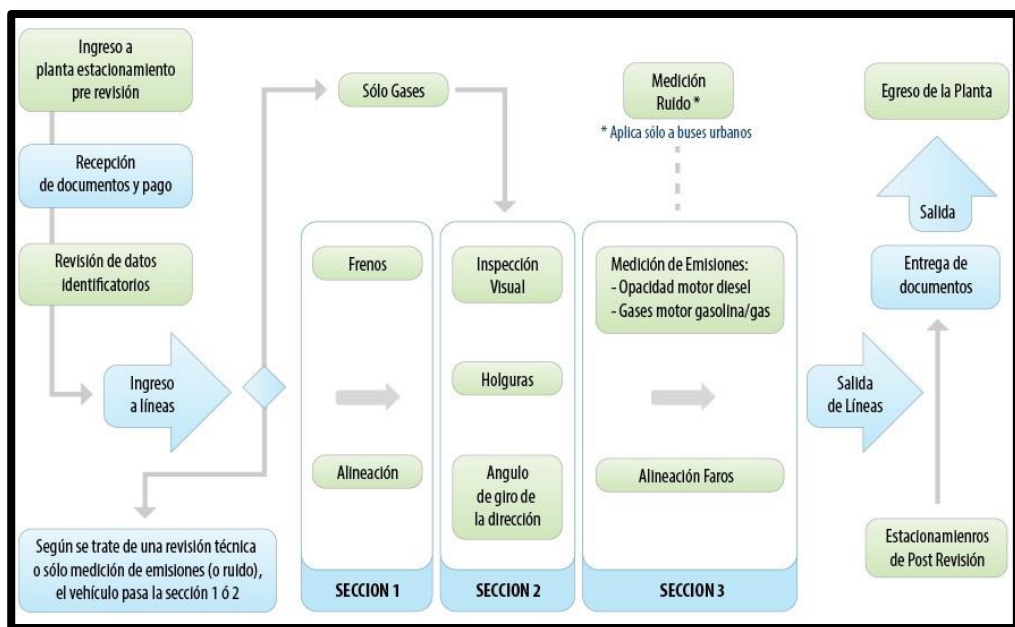


Figura 1- 1: Diagrama revisión técnica clase B

Nota. Reproducido de Diagrama revisión técnica clase B [Diagrama de flujo], por Revisiones Técnicas San Dámaso S.A. (s. f.), <https://sandamaso.cl/docs/diagrama-procesos-b.gif>

1.2 ESTADÍSTICAS DE UNA PLANTA DE REVISIÓN TÉCNICA

En la comuna de Concepción, región del Bio-Bio operan solo 2 plantas de revisión técnica (PRT). Solo la provincia de Concepción concentra un parque automotor cercano a 315.000 vehículos, lo que presiona fuertemente la demanda de inspecciones periódicas. En ese contexto, las PRT deben dimensionar personal, turnos y disponibilidad de líneas (incluida la línea que ocupan el dinamómetro con procedimiento ASM) para sostener flujos altos y continuos durante la jornada.

La planta de revisión técnica más grande de la ciudad de Concepción alcanza un ritmo de 260 vehículos diarios promedio 6 días de la semana, con la capacidad potencial mensual bordea las 6.000 inspecciones en el mes entre vehículos que llegan como primera inspección o con rechazos previos, siendo estos vehículos reinspeccionados.

En el mes de septiembre del año 2025 se revisaron exactamente 6.242 vehículos en una planta en específico teniendo un promedio de 262 diario aproximadamente, esto muestra la importancia a la comunidad de una planta de revisión técnica y su importancia de la operatividad continua de la misma.

Este orden de magnitud justifica planificar cuidadosamente la frecuencia de uso del dinamómetro ASM, definiendo ventanas de mantenimiento, stock de repuestos críticos y tiempos de mantenimiento que no interrumpan la operación en las horas punta.

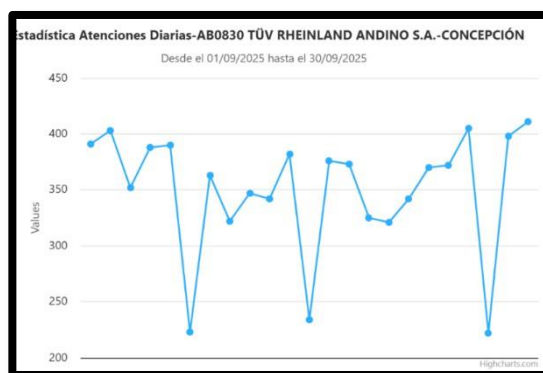


Figura 1- 2: Cantidad de atenciones representativas en PRT Concepción mes de septiembre.

Nota. Reproducido de estadísticas por planta de revisión técnica [Gráficos] (s. f.), <https://www.prt.cl/paginas/estadisticas.aspx>

| SEPTIEMBRE | Inspección | | | Tasa Rechazo |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | Apro | Rech | Tot | |
| Clase A1 | 30 | 46 | 76 | 61% |
| Clase A2 | 200 | 84 | 284 | 30% |
| Clase B | 4057 | 1825 | 5882 | 31% |
| TOTAL ATENCIONES | 4287 | 1955 | 6242 | 31% |

Figura 1- 3: Total atenciones mes septiembre PRT Concepción

Nota. Empresa TUV Rheinland. (2025). Registro de atenciones mes septiembre 2025.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS

Bajo la situación expuesta anteriormente el banco dinamométrico y el analizador de gases son elementos críticos y esenciales para el funcionamiento continuo y el cumplimiento normativo de la planta de revisión técnica, dado que permite el análisis de gases y las pruebas dinamométricas con procedimiento ASM que son requeridos para terminar el proceso de inspección de los vehículos atendidos.

Si no están disponibles ambos activos impactan en el proceso operativo, en la seguridad de las personas y de los vehículos, la validez de los resultados, y la capacidad diaria de atención, generando pérdidas económicas y riesgo de no conformidad de acuerdo con la normativa del ente regulador llevando a multas por no cumplimiento en proceso de inspección o hasta cierre de planta de revisión técnica por tiempo indefinido.

Bajo los lineamientos de la gestión de activos (ISO 55000) y de gestión de riesgos (ISO 31000), se realizará un análisis de criticidad que priorice riesgos por seguridad, cumplimiento, operación y costo. Este análisis permitirá jerarquizar modos de falla, definir planes de mantenimiento y contingencias, con el objetivo de asegurar la disponibilidad requerida de los activos, y sostener la continuidad del servicio.



Figura 1- 4: Proceso de fiscalización en planta de revisión técnica.

Nota. Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito. (2020, 4 de septiembre). *MTT anuncia que plantas de revisión técnica son declaradas servicio esencial y reabrirán a contar de la próxima semana* [Imagen]. CONASET. <https://conaset.cl/mtt-anuncia-que-plantas-de-revision-tecnica-son-declaradas-como-servicio-esencial-y-reabriran-a-contar-de-la-proxima-semana/>

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES

2.1.1 Reseña institucional

El ministerio de transportes y telecomunicaciones fue creado mediante el decreto ley N.º 557, publicado en el diario oficial el 10 de julio de 1974.

Tiene como principales funciones proponer las políticas nacionales en materias de transportes y telecomunicaciones, de acuerdo con las directrices del Gobierno y ejercer la dirección y control de su puesta en práctica; supervisar las empresas públicas y privadas que operen medios de transportes y comunicaciones en el país, y coordinar y promover el desarrollo de estas actividades y controlar el cumplimiento de las leyes, reglamentos y normas pertinentes.

2.1.2. Programa nacional de fiscalización

Para asegurar el cumplimiento normativo y la calidad de las inspecciones, la subsecretaría de transportes ejecuta el programa nacional de fiscalización creada a fines de 1992, apoyado en instructivos específicos para PRT que estandarizan procedimientos de control y el levantamiento de hallazgos hacia las seremi de transportes. Esta fiscalización se orienta a resguardar la seguridad vial y el cuidado ambiental, manteniendo criterios homogéneos en todo el país.

2.1.3. Normativa y regulación

La normativa y regulación se rige por lo dispuesto por el artículo 94 de la Ley N° 18.290, de Tránsito, el artículo 4° de la Ley N° 18.696, en relación con la Ley N° 18.059 y la Ley N° 18.803.

Que establece que el MTT regula y supervisa el sistema de revisión técnica a través de normas, concesiones y fiscalización. El Decreto Supremo (DS) N.º 156/1990 establece el reglamento que autoriza y regula el funcionamiento de las Plantas Revisoras, fijando que las PRT ejecutan las inspecciones técnicas y/o controles de emisiones a los vehículos autorizados en sus bases de licitación.

2.2 PLANTA DE REVISIÓN TÉCNICA

Las plantas de revisión técnica (PRT) son establecimientos autorizados por el estado bajo el manto regulador del ministerio de transportes y telecomunicaciones (MTT) encargados de verificar el cumplimiento de requisitos de seguridad y emisiones de los vehículos en circulación. Su marco jurídico general está definido por el Decreto Supremo N.º 156/1990, que reglamenta la autorización y el funcionamiento de las plantas revisoras y establece que éstas ejecutan revisiones técnicas y/o controles de emisión conforme a lo que determinen las bases de licitación del servicio.

En la operación técnica, las PRT siguen manuales de procedimientos e interpretación de resultados que estandarizan la secuencia de estaciones (frenos, suspensión, dirección, luces, emisiones, etc.), los criterios de aceptación/rechazo y los requisitos de uso/metrología de los equipos (frenómetros, analizadores de gases/opacidad y, cuando corresponde, dinamómetros de con procedimiento ASM). Estas guías se actualizan periódicamente y son la base para garantizar resultados consistentes.

2.2.1. Emisiones de gases

Los efectos adversos que las emisiones de NO_x provocan en la salud de las personas, tales como irritación en los pulmones y disminución de la resistencia ante enfermedades respiratorias, particularmente en individuos con enfermedades respiratorias preexistentes, y que, además, son gases precursores de otros dos contaminantes urbanos importantes: ozono y material particulado.

Para prevenir estos efectos, se necesitan métodos de medición y estándares adecuados para vehículos en uso que detecten eficazmente altas emisiones de NO_x y catalizadores de baja eficiencia.

Por cómo se forma el NO_x (según presión y temperatura), se requiere de un procedimiento de medición en carga, es por ello que se utiliza un dinamómetro de chasis con procedimiento ASM que aplique resistencia y permita evaluar emisiones a velocidades y potencias normalizadas.

El procedimiento de este tipo se encuentra estandarizado por la Environment Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos de Norteamérica, en el documento "Acceleration simulation mode test procedures, emission standards, quality control requirements and equipment specifications, technical guidance", el que se ha considerado como referencia para esta norma.

2.2.2. Normativa nacional de las emisiones de gases

Se establece la norma de emisión de NO, HC y CO para el control del NOx en vehículos en uso, de encendido por chispa (ciclo Otto), que cumplen con las normas de emisión establecidas en el D.S. N° 211 de 1991 y D.S. N° 54 de 1994, ambos del ministerio de transportes y telecomunicaciones.

Esta tiene como objetivo de protección ambiental la regulación de los límites máximos permisibles de emisiones de NO, HC y CO, en los vehículos livianos y medianos con motor de ciclo Otto en uso, de manera lograr la reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx).

Para los efectos del presente decreto, se entenderá por:

- **Dinamómetro de chasis:** Equipo que consta de rodillos y una unidad de absorción de potencia, que permite la rodadura del vehículo a distintas velocidades y potencias de ensayo.
- **Factor de corrección del NO (Kh):** Factor de corrección empleado para ajustar los valores de los Óxidos de Nitrógeno medidos por el analizador de gases, en función de la humedad relativa del ambiente.
- **Inercia equivalente (IE):** Valor de inercia, expresado en kg., que se fija en el dinamómetro para el ensayo de emisiones de escape, en el procedimiento de homologación y que se define en la NCh 2200.Of93.
- **Modo 5015:** Modo de ensayo en carga que se realiza a 24 km/h.
- **Modo 2525:** Modo de ensayo en carga que se realiza a 40 km/h (25 millas por hora).
- **Vehículos comerciales livianos:** Vehículos motorizados que cumplen con la definición que, para esta categoría de vehículos, establece el decreto supremo N° 211 de 1991, del ministerio de transportes y telecomunicaciones.
- **Vehículos livianos de pasajeros:** Vehículos motorizados que cumplen con la definición que, para esta categoría de vehículos, establece el decreto supremo N° 211 de 1991, del ministerio de transportes y telecomunicaciones.
- **Vehículos motorizados medianos:** Vehículos motorizados que cumplen con la definición que, para esta categoría de vehículos, establece el decreto supremo N° 54 de 1994, del ministerio de transportes y telecomunicaciones.

(Chile, ministerio de transportes y telecomunicaciones, 2007, art. 6)

2.2.3. Procedimiento ASM

El procedimiento de prueba consiste en la medición de las concentraciones de CO, HC y NO emitidos por el tubo de escape de los vehículos en los Modos 5015 y 2525.

Para efectuar la medición en cada modo se colocará al vehículo sobre un dinamómetro de chasis y se aplicará una potencia constante de ensayo operando el vehículo a velocidad constante.

Donde IE equivale a la inercia equivalente expresada en kilogramos (kg)

- Para el Modo 5015, la velocidad de ensayo será de 24 km/h (o 15 millas por hora) y la potencia de ensayo, en horse power (HP), se calculará a partir de la Inercia Equivalente (IE) del vehículo como:

$$HP_{5015} = IE / 113,4$$

- Para el Modo 2525, la velocidad de ensayo será de 40 km/h (o 25 millas por hora) y la potencia de ensayo, en HP, se calculará a partir de la Inercia Equivalente del vehículo como:

$$HP_{2525} = IE / 136,1$$

Ambas potencias de ensayo se aplicarán al vehículo mediante un dinamómetro de chasis, en cada modo de medición, a la velocidad correspondiente al modo. Se analizarán las muestras de las emisiones para los tres contaminantes regulados.

Los equipos y software para emplear en las mediciones son los que se describen a continuación:

- **El analizador de gases:** Este debe contar al menos con analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR), para el HC, CO y CO₂ y contar con un analizador para el NO. Adicionalmente el equipo debe ser capaz de registrar, antes de cada prueba, las condiciones ambientales de humedad relativa, temperatura y presión barométrica, para así calcular el Kh (factor de corrección de NO).
- **Dinamómetro de chasis con procedimiento ASM:** La estructura del dinamómetro (rodamientos, rodillos, etc.) debe ser capaz de soportar los vehículos livianos y medianos hasta un peso bruto vehicular de 3.860 Kg. La potencia en HP para los dos modos del equipo (5015 y 2525), debe ser seleccionada automáticamente a partir de las características del vehículo y debe ser suficiente para simular la carga en el Modo 2525 y en el Modo 5015, en todos los vehículos de hasta 3.860 Kg. de peso bruto vehicular.
- **Software:** El proceso de ensayo y recolección de datos deberá ser automático. El software deberá seleccionar automáticamente el estándar de emisión y la potencia de ensayo del vehículo, así como realizar los algoritmos para el cálculo de las

emisiones y del factor de corrección, todo ello, según las indicaciones que definirá el ministerio de transportes y telecomunicaciones (MTT).

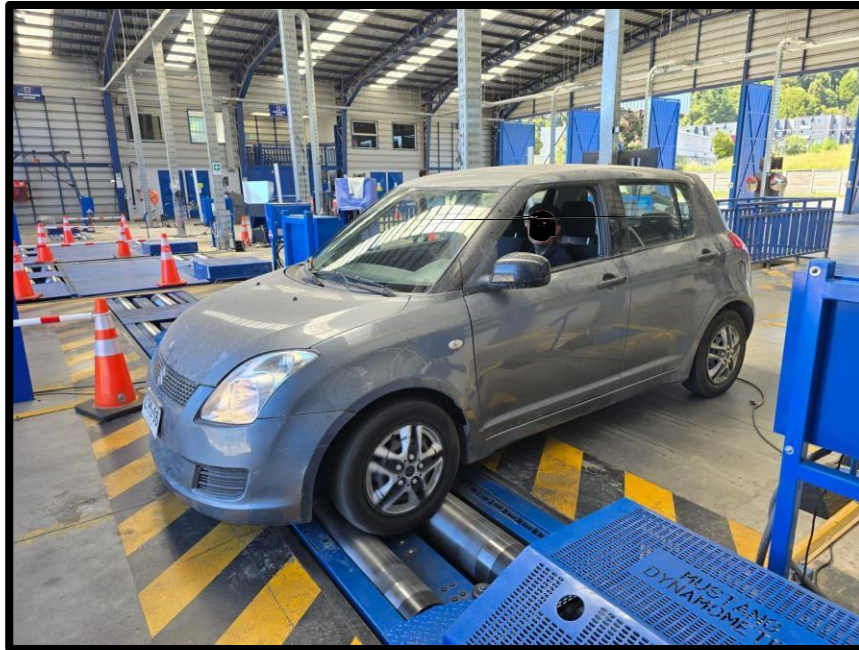


Figura 2- 1: Vehículo en proceso de medición de gases.

Nota. Elaboración propia.

2.3. DINAMÓMETRO DE CHASIS CON PROCEDIMIENTO ASM

Hoy y en el futuro, se requerirá que automóviles y camiones cumplan con normas de seguridad y emisiones cada vez más estrictas. En muchos casos, las pruebas dinámicas, ya sea en carretera o con un dinamómetro de chasis, son la única forma de medir adecuadamente el rendimiento o las emisiones del vehículo.

Un dinamómetro de chasis (a veces denominado "Dyno") es una pieza resistente de equipo que se utiliza para aplicar una carga a un vehículo de prueba. Es un conjunto integrado de subsistemas mecánicos, electromecánicos y eléctricos/electrónicos que funcionan en conjunto para proporcionar la capacidad de simular las cargas reales de la carretera mientras el vehículo que se está probando permanece dentro del dinamómetro.

Como el par de las ruedas motrices del vehículo de prueba causa que los rodillos del dinamómetro giren, la unidad absorbente de corriente eléctrica (PAU) se opone a esta fuerza al convertir la energía cinética del vehículo en calor. Una unidad de control basada en un microordenador, que utiliza control de retroalimentación de circuito cerrado, regula la cantidad de potencia que es absorbida por la PAU y, como resultado, la cantidad de carga que se impone sobre el vehículo de prueba.



Figura 2- 2: Equipo en funcionamiento en medición de gases método 5015.

Nota. Elaboración propia.



Figura 2- 3: Vehículo en prueba de procedimiento ASM.

Nota. Elaboración propia.

2.4. EQUIPO DINAMOMÉTRICO CON PROCEDIMIENTO ASM A ANALIZAR

El equipo dinamoétrico para analizar corresponde a:

- **Marca:** Mustang dynamometer.
- **Modelo:** MD-100-M Series.
- **Máxima velocidad:** 100 mph (160 km/h).
- **Caballos de fuerza:** 300 HP (224 kW).
- **Peso máximo permitido por eje de vehículo:** 2.000 lbs. (907 kg).
- **Diámetro de los rodillos:** 8.575 inch. (218 mm).

2.4.1. Sistema del dinamómetro

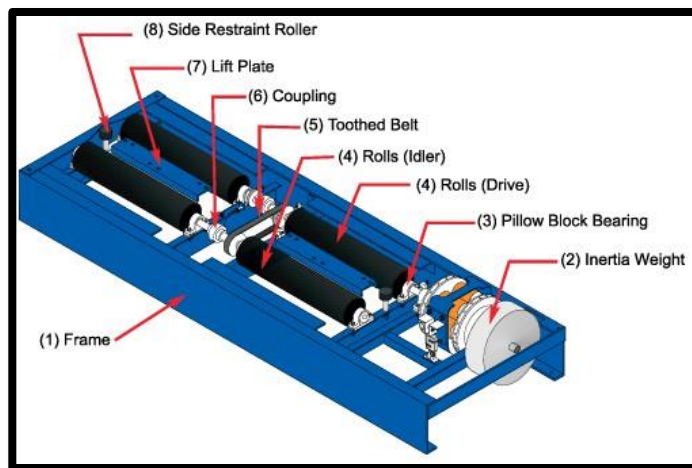


Figura 2- 4: Componentes de banco dinamoétrico.

Nota. Reinterpretado de Manual MD-100 Service (p. 13, Fig. 2.1), por Mustang Dynamometer, 2010. Copyright 2012 por Ganzcorp Investments, Inc. Mustang Dynamometer.

1. Marco estructural: Estructura de acero reforzado con doble soldadura.
2. Peso de inercia: El peso de inercia equilibrado dinámicamente proporciona una capacidad de carga adicional.
3. Soporte de rodamientos de los rodillos: Los rodamientos de bolas están montados en un soporte de rodamientos de hierro gris. La carcasa de los rodamientos ofrece una resistencia excepcional y minimizando la pérdida de roce de los ejes.
4. Rodillos: El dinamómetro está equipado con un conjunto de rodillo impulsor. Todos los rodillos están equilibrados dinámicamente para velocidades de hasta 125 MPH. Las superficies de los rodillos están ranuradas para proporcionar la máxima tracción y un buen agarre.
5. Correa dentada: La correa de transmisión dentada usada para unir los rodillos delantero y trasero.
6. Acoplamiento: Los acoplamientos de alta potencia se utilizan para transmitir con precisión velocidad y potencia a la instrumentación.

7. Placa elevadora: El sistema de elevación neumática (con bloqueo de rodillos integrado) proporciona una entrada y salida fácil del dinamómetro.
8. Restricciones: Topes que brindan un grado adicional de seguridad durante las pruebas en caso de perder control del vehículo durante la ejecución de la prueba.

2.4.2 Sistema de control y monitoreo

El subsistema de control y monitoreo se define aquí como compuesto por los componentes del sistema eléctrico, electromecánico y electrónico que se utilizan principalmente para controlar el funcionamiento del sistema y para controlar el comportamiento del vehículo durante una prueba.

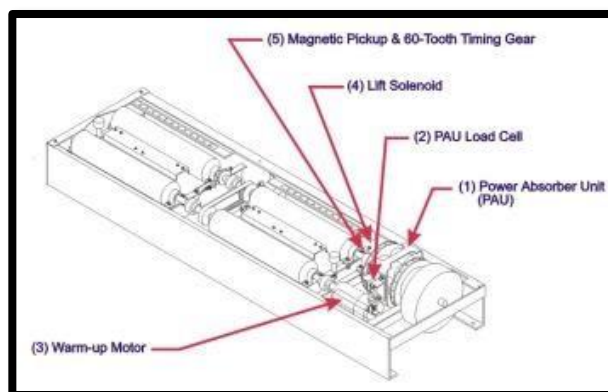


Figura 2- 5: Componentes de sistema de control y monitoreo de banco dinamométrico.

Nota. Reinterpretado de Manual MD-100 Service (p. 14, Fig. 2.2), por Mustang Dynamometer, 2010. Copyright 2012 por Ganzcorp Investments, Inc. Mustang Dynamometer.

1. Unidad de absorción de potencia (PAU): Una unidad de absorción de corriente de Foucault (PAU) proporciona carga infinitamente variable sin el uso de agua o sistema hidráulico. La PAU puede operar mientras gira en cualquier dirección. Su robusta construcción le permite operar bajo condiciones extremadamente exigentes. La PAU está cableada para operación de 96 CC.
2. Celda de carga PAU: La celda de carga del extensómetro, excitada con 10 VCC, produce una señal de salida de CC, ya sea que está comprimida o expandida. La precisión nominal de la celda de carga es de $\pm 0.1\%$.
3. Motor de calentamiento: Un motor de 5 HP está integrado en el sistema para realizar procedimientos de calentamiento, calibraciones y descenso automático.
4. Solenoide de elevación de aire: Esta válvula controla el flujo de aire presurizado (válvula máxima de 80 PSI) a las bolsas de aire de elevación, lo que les permite inflarse y desinflarse rápidamente permitiendo el acceso del vehículo.

- Captador magnético: Una revolución del eje de transmisión genera 60 pulsos. Al medir el tiempo entre pulsos, se puede calcular la velocidad de rotación.

2.4.3 Subsistema de control y monitoreo

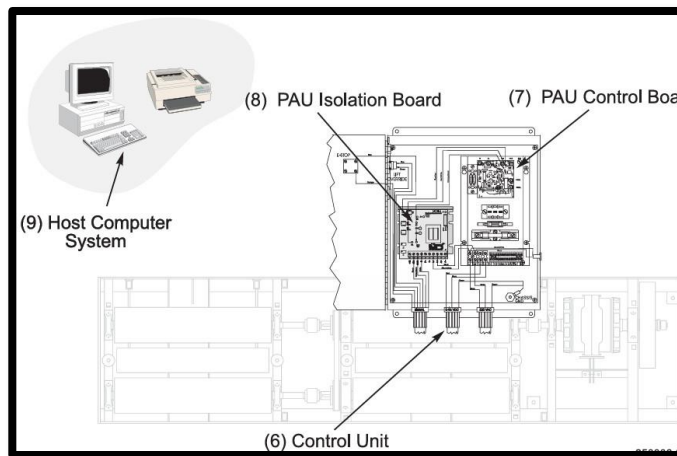


Figura 2- 6: Componentes de subsistema de control y monitoreo de banco dinamométrico.

Nota. Reinterpretado de Manual MD-100 Service (p. 14, Fig. 2.3), por Mustang Dynamometer, 2010. Copyright 2012 por Ganzcorp Investments, Inc. Mustang Dynamometer.

- Unidad de control: Esta unidad contiene circuitos que convierten las señales ordenadas por la computadora en salidas que se suministran a la unidad PAU provenientes del sensor de velocidad y la célula de carga.
- Placa de control PAU: La placa de control PAU utiliza una señal de entrada de 0-5 VCC del módulo de aislamiento para producir una salida de 0-96 CC que se suministra a la PAU.
- Placa de aislamiento PAU: La placa de aislamiento PAU aísla ópticamente las señales de control de la placa de control PAU.
- Computador: El sistema informático principal alberga las placas de conversión analógica/digital junto con el paquete de software propietario del dinamómetro Mustang.

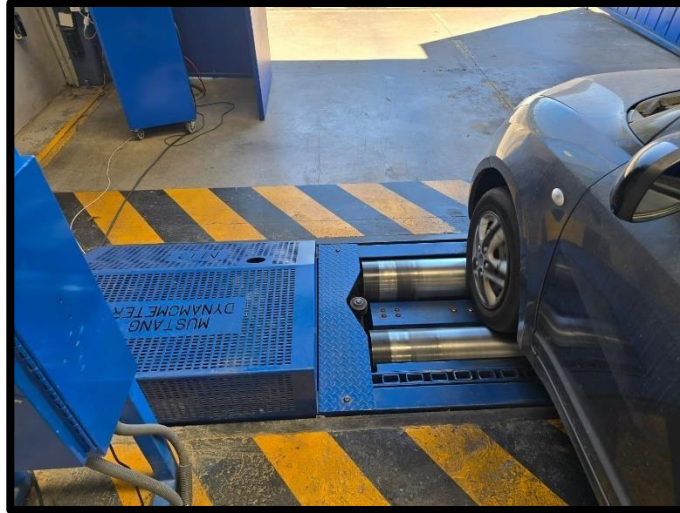


Figura 2- 7: Vehículo sobre los rodillos en prueba de emisiones de gases.

Nota. Elaboración propia.

2.4.4 Principio de funcionamiento del dinamómetro

El dinamómetro de chasis MD-100 dará la capacidad de simular las cargas reales de la carretera mientras el vehículo se encuentra en la prueba, con que una sonda de diagnóstico de gases se encuentra insertada en el escape del vehículo.

El dinamómetro consta principalmente de un conjunto de rodillos impulsores, un conjunto de rodillos tensores, una unidad de absorción de potencia (PAU), una celda de carga y un codificador de velocidad. El juego de rodillos de arrastre y el juego de rodillos tensores están acoplados entre sí por una correa de transmisión dentada.

Durante el funcionamiento del dinamómetro, las ruedas motrices del vehículo se acunan entre los rodillos impulsores y los rodillos tensores. El torque del vehículo se transmite a través de los rodillos impulsores a la unidad absorbente de potencia (PAU). La PAU es un muñón montado directamente en la línea de transmisión del dinamómetro. Se evita que gire "libremente" mediante la instalación de una celda de carga. La "carga" es medida por la celda de carga y se transmite al sistema de control a través de una señal eléctrica. La PAU absorbe esta carga al energizar las bobinas estacionarias del campo eléctrico con una corriente continua. Estas bobinas establecen campos magnéticos a través de los cuales se rotan los rotores de hierro de la PAU. Esta rotación genera corrientes de Foucault en los rotores que producen una fuerza que es contraria a la dirección del movimiento giratorio. La potencia absorbida por la PAU depende de la cantidad de energía CC aplicada a las bobinas de campo y las RPM de los rotores giratorios. La velocidad de rotación de los rotores se mide mediante un dispositivo magnético llamado captador magnético y se transmite al sistema de control.

Cuando se conocen tanto el par (desde la señal de la célula de carga) como la velocidad (desde la señal del captador), la potencia puede determinarse fácilmente. Esta se refleja en el computador iniciando las pruebas ASM.

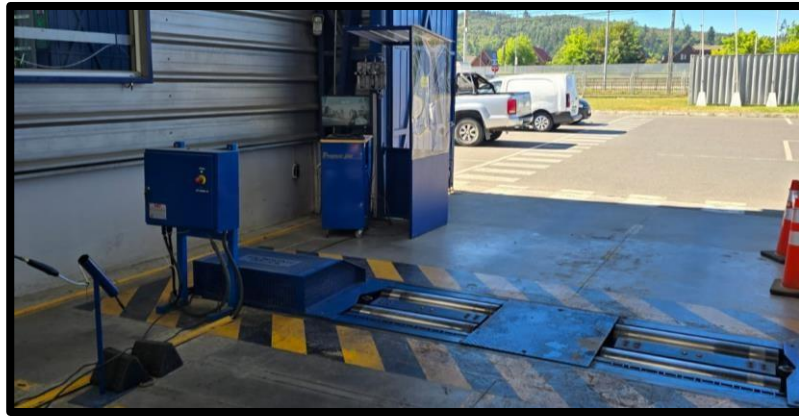


Figura 2- 8: Dinamómetro utilizado en PRT Concepción.

Nota. Elaboración propia.

2.5 ANALIZADOR DE GASES

Para las pruebas de gases de vehículos que consuman gas y gasolina como combustible, en la planta de revisión técnica de la ciudad de Concepción se utiliza el equipo de marca Progress Five que cuenta en un solo gabinete compacto con: un analizador de 5 Gases BAR 97 modelo 6500 marca ANDROS, incorporado a una computadora de alto rendimiento y a un software de control, con capacidad de imprimir reportes y certificados, así como de recibir y transmitir información digital a un servidor propio de la planta de revisión técnica que esta conectados a servidores que están conectados en tiempo real al ministerio de transporte y telecomunicaciones.

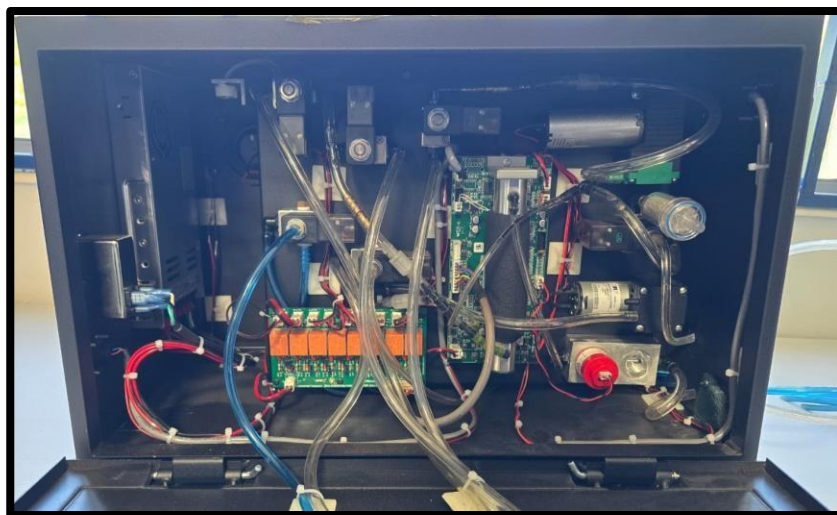


Figura 2- 9: Interior de analizador de gases.

Nota. Elaboración propia.

2.5.1 Especificaciones del analizador de gases

En la modalidad de prueba dinámica determina la concentración de hidrocarburos “HC”, monóxido de carbono “CO”, bióxido de carbono “CO₂” y oxígeno “O₂”, más óxidos de nitrógeno “NO_x” en los gases del escape del vehículo.

La resolución de la escala permite también mayor precisión que la requerida por el MTT, ya que es de 1 ppm en los casos de HC y NO; de 0.001 % en el caso de CO y de 0.01 % en el caso de CO₂ y O₂.

El analizador cumple con los requerimientos siguientes de exactitud en sus lecturas:

| Gas | Rango | Precisión | Ruido* | Repetibilidad |
|-----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| HC (ppm) | 0–2.000 ppm | ±4 ppm abs. o ± 3% Rel. | 2 ppm abs. o ± 0,8% Rel. | ± 3 ppm abs. o ± 2% Rel. |
| HC (ppm) | 2.001–15.000 ppm | ± 5% Rel. | 2 ppm abs. o ± 0,8% Rel. | ± 3% Rel. |
| HC (ppm) | 15.001–30.000 ppm | ± 8% Rel. | 2 ppm abs. o ± 0,8% Rel. | ± 4% Rel. |
| CO (%) | 0,00–10,00 % | ±0,02% abs. o ± 3% Rel. | 0,01% abs. o ± 0,8% Rel. | ± 0,02% abs. o ± 2% Rel. |
| CO (%) | 10,01–15,00 % | ± 5% Rel. | 0,01% abs. o ± 0,8% Rel. | ± 3% Rel. |
| CO ₂ (%) | 0,00–16,0 % | ±0,3% abs. o ± 3% Rel. | 0,1% abs. o ± 0,8% Rel. | ± 0,1% abs. o ± 2% Rel. |
| CO ₂ (%) | 16,01–20,0 % | ± 5% Rel. | 0,1% abs. o ± 0,8% Rel. | ± 3% Rel. |
| NO _x (ppm) | 0–4.000 ppm | ±25 ppm abs. o ± 4% Rel. | 10 ppm abs. o ± 1% Rel. | ± 20 ppm abs. o ± 3% Rel. |
| NO _x (ppm) | 4.001–5.000 ppm | ± 5% Rel. | 10 ppm abs. o ± 1% Rel. | ± 4% Rel. |
| O ₂ (%) | 0–25,0 % | ±0,1% abs. o ± 3% Rel. | 0,1% abs. o ± 1,5% Rel. | ± 0,1% abs. o ± 3% Rel. |

Tabla 1: Valores admisibles analizador de gases.

Nota. Adaptado de Manual de procedimiento Progress Five (p. 25), por Progress Five 2022.

* Ruido: variación aleatoria a corto plazo; se usa el mayor entre el valor absoluto y el % relativo.

El diseño de fábrica de la micro banca ANDROS 6500 utilizada contiene 3 termistores:

- Uno para reportar constantemente la temperatura exterior del ambiente, dentro del gabinete.
- Otro para reportar constantemente la temperatura del emisor infrarrojo.
- Y uno más para reportar constantemente la temperatura dentro del tubo de pruebas.

Mas 2 transmisores de presión:

- Uno para reportar constantemente la presión barométrica.
- Otro para reportar constantemente el diferencial de presión dentro del tubo de pruebas

Para las pruebas dinámicas los equipos Progress Five incorporan adicionalmente una estación meteorológica certificada, con sensor de humedad relativa (HR), de temperatura y presión barométrica, que reporta constantemente los datos al programa, para el tratamiento de los valores de los gases muestreados con los factores de corrección científicamente aprobados y vigilando que la HR se encuentre dentro del rango máximo del 80% de humedad relativa con una incertidumbre de $\pm 2^\circ$. Emitiendo también el programa una bandera de aviso solicitando la interrupción de las pruebas funcionales cuando la humedad relativa o la temperatura no están presentes o exceden el rango máximo permitido.

2.5.2 Tiempo de respuesta del analizador

El tiempo de respuesta del sistema integrado, medido desde la punta de la sonda es inferior a 8 segundos para alcanzar el 90% de la lectura final estabilizada y no mayor a 12 segundos para alcanzar el 95% de la lectura final estabilizada.

Durante todo el tiempo de trabajo la estabilidad se encuentra dentro del $\pm 2\%$.

Para el canal de O₂, el tiempo de respuesta es inferior a 15 segundos para alcanzar el 90% de un cambio abrupto en la entrada. En adición, el tiempo de respuesta para el O₂, desde una lectura estabilizada de 20.9% hasta una lectura de 0.1% es inferior a 40 segundos.

Adicionalmente para el canal de NO_x el tiempo de respuesta desde una lectura estabilizada hasta el 10% de esa lectura es inferior a 30 segundos.

2.5.3 Calibración de rutina

El equipo es hermético en todas sus conexiones e incluye una rutina automática de revisión de prueba de fugas del sistema de muestreo que puede solicitarse diariamente, por un número determinado de pruebas.

El equipo puede requerir automáticamente al usuario una calibración de rutina con gas patrón, diaria, cada tercer día, en función del número de los vehículos muestreados o con la periodicidad que la autoridad determine y producir un reporte escrito, fechado y numerado.

Sin un resultado satisfactorio en la calibración de rutina, el equipo queda bloqueado impidiendo su utilización en pruebas funcionales hasta que se logre una calibración exitosa.

2.5.4. Sistema de muestreo

El equipo incluye una manguera original Synflex BAR 97 con longitud de 7.6 m., con diámetro interior de 3/16", anticolapsante y flexible para facilitar su manejo, más una manguera adicional reglamentaria para los vehículos con doble escape.

Con mango de acero con cacha de policarbonato para evitar quemaduras y punta flexible en acero inoxidable de 40 cm.

La sonda del equipo tiene las siguientes especificaciones:

- Presión normal de trabajo de -10 PSI a +50 PSI.
- Presión máxima soportada de 300 PSI, cumpliendo con la Norma SAE J30R7.
- Temperatura de operación: de -40°C a +350°C.
- Factor de expansión menor al 0.5%.
- Recubrimiento exterior de PVC resistente a grasas y solventes, así como a la corrosión.

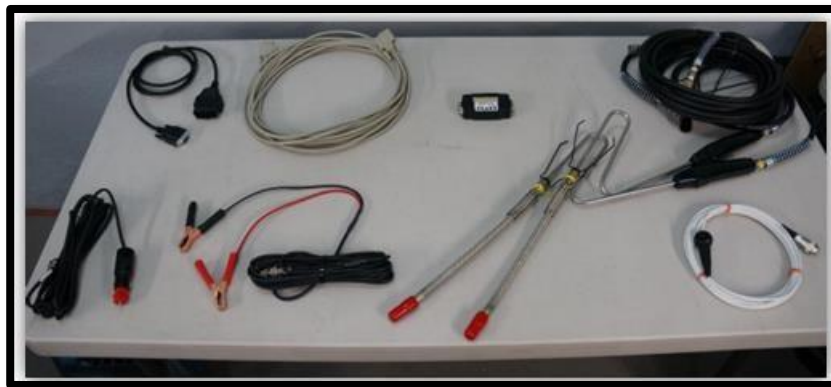


Figura 2- 10: Instrumentos necesarios para analizador de gases.

Nota. Adaptado de Manual de procedimiento Progress Five (p. 35), por Progress Five 2022

2.5.5 Principio de funcionamiento del analizador de gases

El analizador de gases Progress Five destinado a las pruebas ASM obtiene una muestra de los gases del escape a través de una sonda y una bomba mientras el vehículo se encuentra sometido a la prueba de emisiones de gases, estas muestras se someten a acondicionamiento mediante un deshumidificador de agua y filtros para luego llegar al sistema óptico Andros 6500 el cual forma parte del equipo.

En este sistema las concentraciones de CO, CO₂ y HC se determinan mediante un método de infrarrojo no dispersivo (NDIR), en el cual cada gas reacciona a radiaciones de longitudes de onda específicas y la electrónica calcula la concentración basándose en la atenuación óptica utilizando fuentes infrarrojas de pulso.

Mientras eso ocurre, las muestras de O₂ pasa sobre una celda que reacciona químicamente solo con el oxígeno. Esta reacción genera una pequeña corriente eléctrica. Más oxígeno resulta en más corriente.

Mientras que las muestras de NO_x se transmiten a un sensor alternativo que está específicamente creado para interactuar únicamente con el NO_x. Esta interacción también produce una corriente eléctrica. Una mayor concentración de NO_x resulta en un incremento en la corriente.

Luego de culminada la prueba de gases, los datos se procesan, entregan los resultados finales y van al sistema de recopilación de datos para el vehículo que se está realizando la prueba. Y empieza un proceso de calibración y limpieza automática para proseguir con el proceso de inspección en los demás vehículos.

2.6 MANTENIMIENTO

Mantenimiento se define como la función de gestión y el conjunto de actividades técnicas, administrativas y de supervisión destinadas a preservar o restaurar un ítem (activo, sistema o componente) a un estado en el que cumpla su función requerida con niveles especificados de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad, optimizando el costo del ciclo de vida y gestionando el riesgo.

2.6.1 Tipos de mantenimiento

- **Mantenimiento correctivo:** Es el conjunto de acciones destinadas a restablecer un activo, sistema o componente a un estado en el que vuelva a cumplir su función después de ocurrida una falla. Su objetivo es recuperar la disponibilidad

minimizando el tiempo fuera de servicio (MTTR) y el impacto en seguridad, ambiente, calidad y costos.

- **Mantenimiento preventivo:** Es el conjunto de actividades planificadas y ejecutadas antes de que ocurra la falla, realizadas a intervalos predeterminados o según criterios definidos, con el fin de reducir la probabilidad de fallo o la degradación del desempeño de un activo y mantenerlo capaz de cumplir su función requerida (con niveles objetivo de disponibilidad, confiabilidad, seguridad y costo de ciclo de vida).
- **Mantenimiento predictivo:** Estrategia que utiliza monitoreo y diagnóstico (mediciones, análisis y modelos) para detectar y pronosticar la degradación de un activo, estimar su vida remanente e intervenir en el momento óptimo antes de la falla, minimizando riesgo, paradas y costo del ciclo de vida.

- **Tiempo medio entre fallas (MTBF):** Es un indicador clave de rendimiento en mantenimiento que representa el tiempo promedio que transcurre entre dos fallas consecutivas en un equipo o sistema que es reparable.

Se calcula de la siguiente forma:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total de operación}}{\textit{Número de fallas}}$$

- **Tiempo medio para fallar (MTTF):** Es una métrica clave que representa el tiempo promedio que se espera que un activo o componente funcione continuamente antes de que ocurra su primera (y única) falla ya que solo es aplicable a activos o componentes no reparables.

Se calcula de la siguiente forma:

$$MTTF = \frac{\textit{Suma del tiempo total de funcionamiento}}{\textit{Número de fallas}}$$

- **Tiempo medio de reparación (MTTR):** Promedio del tiempo efectivo de reparación requerido para restaurar un ítem reparable desde el momento en que se declara la falla hasta que vuelve a estar operativo, bajo condiciones definidas.

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{Número de paradas}}$$

- **Confiabilidad:** La probabilidad de que un activo (equipo o sistema) funcione sin fallas, desempeñando su función requerida, durante un período de tiempo determinado, bajo condiciones operativas específicas.

$$\text{Confiabilidad } (t) = e^{(-\lambda t)}$$

*La letra Lambda representa la tasa de fallas del sistema y t representa el tiempo considerado para el cálculo. La letra “e” se refiere a la base del logaritmo natural.

- **Disponibilidad:** Es la probabilidad o el porcentaje de tiempo en que un ítem (equipo o sistema) está en condiciones operativas cuando se le requiere, considerando su patrón de fallas y de reparación bajo ciertas condiciones de operación y soporte.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

- **Mantenibilidad:** La probabilidad de que un activo que ha fallado pueda ser restaurado a un estado operativo específico (reparado) en un tiempo determinado, cuando las tareas de mantenimiento se realizan bajo condiciones prescritas y utilizando procedimientos y recursos establecidos.

2.7 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

Otro nombre para este gráfico es diagrama de causa y efecto o diagrama de espinas de pescado. Es una herramienta que ayuda a reconocer las diferentes razones que pueden llevar a un problema particular. Este método consiste en clasificar en categorías (materiales, maquinaria, procedimiento, personal) las posibles causas que podrían generar el problema que se está estudiando.

Una de las principales ventajas de esta técnica es que se puede usar en cualquier industria, actividad, ámbito, contexto o circunstancia. Es útil en varios sectores para tratar diferentes tipos de problemas y para elevar la calidad en múltiples procesos.

Aunque puede estructurarse de distintas formas, la más habitual es dividirlo en las 6M:

- Máquina.
- Materia prima o materiales.
- Método.
- Mano de obra.
- Medición.
- Medio ambiente.

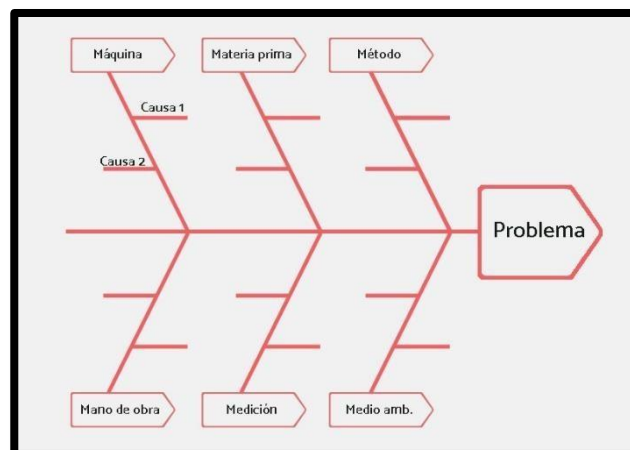


Figura 2- 11: Ejemplo de diagrama Ishikawa 6M.

Nota. Reproducido de *Ishikawa 6M+1*, por L. Pazó Pampillón, 2018, Xherpa (<https://xherpatothegenius.com/ishikawa-6m1/>)

2.8 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Se define como el proceso de asignar a los activos una calificación de criticidad basada en su riesgo potencial. El riesgo se define como “el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos”, de acuerdo con ISO 31000:2009 – Gestión del riesgo – Principios y directrices.

Dado que no puede cuantificarse realmente, el riesgo, en este caso, se considera como todas las formas posibles en que los activos pueden fallar y los efectos que la falla puede tener en el sistema y la operación como un todo. Dado esto, el análisis de criticidad está estrechamente relacionado con un análisis de modos de falla y efectos (FMEA, por sus siglas en inglés) y un análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA, por sus siglas en inglés). Una vez que se ha realizado un análisis de criticidad, un FMEA generalmente se realiza en el 20 por ciento superior de los activos más críticos.

2.9 DIAGRAMA DE PARETO

También definido como la regla del 80/20, describe el fenómeno de que aproximadamente el 80% de los resultados se logran mediante el 20% de las acciones.

El economista y filósofo italiano Vilfredo Federico Pareto lo enunció por primera vez en 1896. Este diagrama contiene barras y líneas, donde los valores individuales se representan en orden descendente mediante barras, y el total acumulado de la muestra se representa mediante una línea curva. También se incluye una línea de corte del 80 % para indicar dónde se aplica la regla 80/20, es decir, los factores vitales que requieren mayor atención se encuentran por debajo de la línea de corte del 80 %.

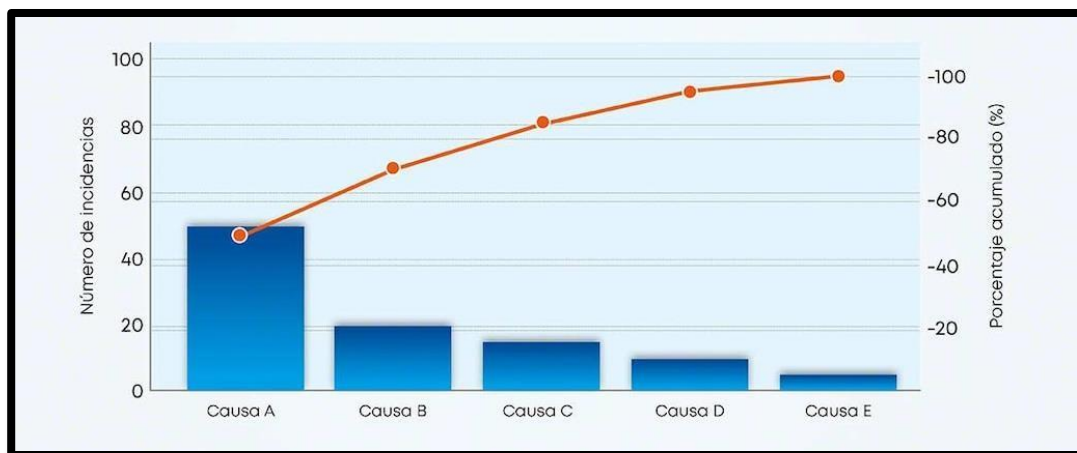


Figura 2- 12: Ejemplo de diagrama de Pareto.

Nota. Reproducido de *Diagrama de Pareto: qué es y ejemplos de aplicación en logística*, por Mecalux (2025), <https://www.mecalux.es/blog/diagrama-pareto>

**CAPITULO III: ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y HERRAMIENTAS
COMPLEMENTARIAS DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y MEJORA**
CONTINUA

3.1 INTRODUCCIÓN Y BASES PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para garantizar el contexto operativo de una planta de revisión técnica que realiza procedimiento ASM, la gestión adecuada de los activos críticos resulta fundamental para asegurar la continuidad del servicio, el cumplimiento normativo y la seguridad de las personas.

El banco dinamométrico, junto con sus principales componentes mecánicos, eléctricos y de control, y el analizador de gases quienes en conjunto constituyen ser parte clave del proceso de inspección, ya que permite la ejecución de los ensayos bajo carga requeridos por la normativa vigente. Sin embargo, no todos los componentes aportan el mismo nivel de riesgo frente a una falla. Por ello, se hace necesario desarrollar un análisis de criticidad que permita identificar y jerarquizar aquellos elementos cuyo fallo tendría mayores consecuencias sobre la seguridad, normativa que se exige, la disponibilidad operativa, y los costos asociados.

A partir de este análisis, se busca entregar una base técnica para la toma de decisiones en mantenimiento, definiendo planes preventivos con el fin de asegurar el desempeño confiable del banco dinamométrico y el analizador de gases logrando la continuidad operacional.

Agregar que el presente estudio se desarrolla considerando las condiciones reales de operación de la planta de revisión técnica, donde la información histórica detallada de fallas y tiempos de falla es limitada. Situación habitual en este tipo de instalaciones, donde los registros se orientan principalmente al cumplimiento normativo y a la continuidad operativa, más que al análisis estadístico profundo de confiabilidad de los equipos.

Por lo tanto, la estimación de la probabilidad de ocurrencia de fallas se realizó a partir del conocimiento empírico del comportamiento de los equipos, su frecuencia de uso, condiciones de operación y modos de falla recurrentes observados en la práctica, más que en registros estadísticos formales de largo plazo.

En este estudio se aplica un índice de severidad modificado a partir de las metodologías de FMECA (IEC 60812), de las matrices de riesgo cualitativas que se encuentran en la norma ISO 31010, estableciendo criterios concretos para el ámbito de las plantas de revisión técnica.

Para la valoración de cada criterio (S, N, O, C, T y P) se optará por utilizar una escala cualitativa de tres niveles (1 = bajo, 2 = medio, 3 = alto), en lugar de una escala más fina de cinco niveles. Esta decisión metodológica se basa principalmente en el nivel de información disponible y en la naturaleza del análisis realizado.

En cuanto al riesgo global (RG), definido como el producto entre el índice de criticidad y la probabilidad de ocurrencia ($RG = IC \times P$), su valor se encuentra entre 5 y 45, considerando que P también toma valores entre 1 y 3. Sobre este intervalo se definieron tres rangos de clasificación: riesgo bajo (5–15), riesgo medio (16–29) y riesgo alto (30–45).

Para ello estableceremos las bases de este análisis:

Criterios:

- **Seguridad (S):** Consecuencias de la falla sobre operadores, usuarios y terceros.
- **Cumplimiento normativo (N):** Impacto en cumplimiento de normativa MTT, validez del ensayo ASM, calibraciones, etc.
- **Impacto operativo / disponibilidad (O):** Cuánto afecta la capacidad de atender vehículos, cuellos de botella, tiempos muertos.
- **Impacto económico (C):** Pérdida de ingresos, multas, sanciones, horas extra.
- **Tiempo de reposición / mantenibilidad (T):** Dificultad para reparar, plazo de repuestos, necesidad de servicio externo, complejidad.
- **Probabilidad de ocurrencia (P):** Se asigna en base a experiencia operacional, recomendación del manual o desgaste natural por uso.

Escala de 1 a 3 (para cada criterio):

- **Seguridad (S)**
 - 1 = Bajo: falla sin riesgo para personas.
 - 2 = Medio: puede generar incidente leve (golpes menores, molestias).
 - 3 = Alto: riesgo de lesión grave o accidente importante.
- **Cumplimiento normativo (N)**
 - 1 = Bajo: no afecta cumplimiento ni validez del ensayo.
 - 2 = Medio: genera dudas o reprocesos, pero se detecta y corrige.
 - 3 = Alto: invalida resultados o expone a no conformidades graves.
- **Impacto operacional / disponibilidad (O)**
 - 1 = Bajo: impacto mínimo, no afecta capacidad diaria.
 - 2 = Medio: reduce capacidad o genera demoras, pero se puede operar.
 - 3 = Alto: detiene el banco o la línea de ensayo.

- **Impacto económico (C)**
 - 1 = Bajo: costo menor, absorbible operativamente.
 - 2 = Medio: costo relevante a nivel mensual.
 - 3 = Alto: costo alto, afecta resultados del periodo o requiere inversión fuerte.
- **Tiempo de reposición / mantenibilidad (T)**
 - 1 = Bajo: repuesto en pañol, reparación rápida.
 - 2 = Medio: repuesto con demora moderada o reparación media (días).
 - 3 = Alto: repuesto crítico, importado o con plazos largos/inciertos.
- **Probabilidad de ocurrencia de falla (P)**
 - 1 = Baja probabilidad de que ocurra.
 - 2 = Media probabilidad de que ocurra.
 - 3 = Alta probabilidad de que ocurra.

Fórmula de criticidad:

- Índice de criticidad (IC) = S + N + O + C + T

Definición de clases:

- **Crítico (A):** $IC \geq 13$
- **Medio (B):** $8 \leq IC \leq 12$
- **Bajo (C):** $IC < 7$

Formula de riesgo global:

- Riesgo global (RG): $IC \times P$

Escala de RG:

- **Riesgo bajo:** $5 \leq RG \leq 15$
- **Riesgo medio:** $16 \leq RG \leq 29$
- **Riesgo alto:** $30 \leq RG \leq 45$

3.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD A BANCO DINAMOMÉTRICO

| Componente | S | N | O | C | T | IC | Nivel IC | P | RG | Comentario |
|--------------------------------|---|---|---|---|---|----|-----------|---|----------|--|
| Marco estructural | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 10 | Medio (B) | 1 | 10 Bajo | Fallo estructural poco frecuente ya sea por corrosión o instalación deficiente. |
| Rodillos | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 12 | Medio (B) | 2 | 24 Medio | Rodillos sometidos a frecuente desgaste y daños superficiales. |
| Soporte de rodamientos | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 8 | Medio (B) | 3 | 24 Medio | Alta probabilidad de juego, ruido o gripado si no se mantiene lubricado. |
| Correa dentada | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 9 | Medio (B) | 3 | 27 Medio | Elemento de transmisión con recurrente desgaste y pérdida de tensión |
| Peso de inercia | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 10 | Medio (B) | 1 | 10 Bajo | Generalmente estable; problemas suelen deberse a fijación incorrecta o desbalance poco habitual. |
| Acoplamientos entre ejes | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 11 | Medio (B) | 2 | 22 Medio | Transmiten torque entre ejes; desgaste o desalineación son modos de falla relativamente frecuentes. |
| Sistema de bloqueo y elevación | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 11 | Medio (B) | 2 | 22 Medio | Fugas de aire, desgaste de bolsas y fallas de válvulas son posibles con el uso normal pero poco frecuente. |

Tabla 2: Análisis de criticidad a banco dinamométrico.

Nota. Elaboración propia.

3.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO DE BANCO DINAMOMÉTRICO

| Componente | S | N | O | C | T | IC | Nivel IC | P | RG | Comentario |
|--|---|---|---|---|---|----|-------------|---|-------------|--|
| Unidad de absorción de potencia (PAU) | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 13 | Critico (A) | 1 | 13 Bajo | Conjunto robusto; fallas graves no son frecuentes, pero cuando ocurren son muy críticas y costosas. |
| Celda de carga de torque | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 11 | Medio (B) | 2 | 22 Medio | Elemento sensible; descalibraciones o fallas electrónicas pueden aparecer de forma ocasional. |
| Sensor de velocidad o captador magnético | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 | 10 | Medio (B) | 2 | 20 Medio | Sensor expuesto a condiciones de operación; fallas de lectura o cableado son relativamente frecuentes. |
| Motor eléctrico de calentamiento | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 8 | Medio (B) | 2 | 16 Medio | Motor auxiliar de uso periódico; puede fallar de forma ocasional, pero con impacto global bajo. |
| Sistema electrónico de control | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 13 | Critico (A) | 2 | 26 Medio | Electrónica compleja; no falla todos los días, pero sí presenta eventos por temperatura. |

Tabla 3: Análisis de criticidad de sistema de control y monitoreo de banco dinamométrico.

Nota. Elaboración propia.

3.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD A ANALIZADOR DE GASES

| Componente | S | N | O | C | T | IC | Nivel IC | P | RG | Comentario |
|---|---|---|---|---|---|----|-----------|---|----------|--|
| Sistema de muestreo con banco óptico ANDROS 6500 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 11 | Medio (B) | 2 | 22 Medio | Indispensable para la medición de gases; si falla o se contamina, la prueba ASM pierde validez y se detiene la línea de revisión. |
| Subsistema automatizado de calibración y limpieza | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 8 | Medio (B) | 3 | 24 Medio | Ejecutante de rutinas automáticas de calibración; indispensable para cumplir el programa de calibraciones diarias. |
| Sonda de gases | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 7 | Bajo (C) | 3 | 21 Medio | Debe sopletearse semanalmente; acumulación de residuos, humedad o HC causa errores sistemáticos en la medición. |
| Sensores NOx y O2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 8 | Medio (B) | 3 | 24 Medio | El equipo emite mensajes para revisar y reemplazar estos sensores; su degradación altera directamente la precisión de la medición y puede invalidar la prueba. |

Tabla 4: Análisis de criticidad a analizador de gases.

Nota. Elaboración propia.

3.5 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA BANCO DINAMOMÉTRICO

Realizar procedimientos de mantenimiento adecuados con regularidad es esencial para el buen funcionamiento de cualquier máquina. Al establecer un programa de mantenimiento preventivo y cumplirlo, puede reducir considerablemente el riesgo de que el banco dinamométrico quede inoperativo justo cuando más se necesita.

3.5.1 Puntos de engrase a piezas de banco dinamométrico

- Rodamientos de bancada: El rodamiento interior se fija firmemente al eje sobre el cual está montado mediante dos tornillos prisioneros en el collarín del rodamiento. Para aplicaciones de servicio normal, vuelva a lubricar mensualmente con grasa estándar a base de litio, hasta que se observe exceso de grasa en los sellos del rodamiento. Limpie el exceso de grasa.

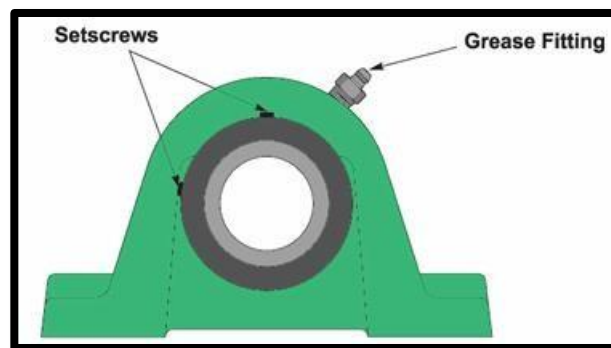


Figura 3 - 1: Bancada junto con rodamiento del banco dinamométrico.

Nota. Adaptado de Manual de Mantenimiento y Servicio (p. 53, Fig. 7.1), por Mustang Dynamometer, 2002. Copyright 2002 por Ganzcorp Investments, Inc. Mustang Dynamometer.

- Unidades de Absorción de Potencia (PAU): Lubricar mensualmente usando grasa Monolith AW2, introduciendo grasa a través del engrasador ubicado en la esquina de la carcasa del bastidor, hasta que la grasa sea visible en el orificio de purga del bastidor, en una ubicación diagonal (ilustrado en la parte inferior).

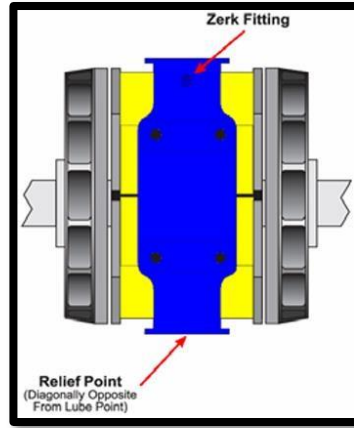


Figura 3 - 2: PAU de banco dinamométrico.

Nota. Adaptado de Manual de Mantenimiento y Servicio (p. 56, Fig. 7.5), por Mustang Dynamometer, 2002. Copyright 2002 por Ganzcorp Investments, Inc. Mustang Dynamometer.

- Acoplamientos entre ejes: Mensualmente, retire los tapones de grasa del manguito del acoplamiento en ambos lados. Con una pistola engrasadora manual, aplique dos dosis completas de grasa estándar a base de litio en cada acoplamiento. Limpie el exceso de grasa con un paño limpio y vuelva a colocar los tapones.

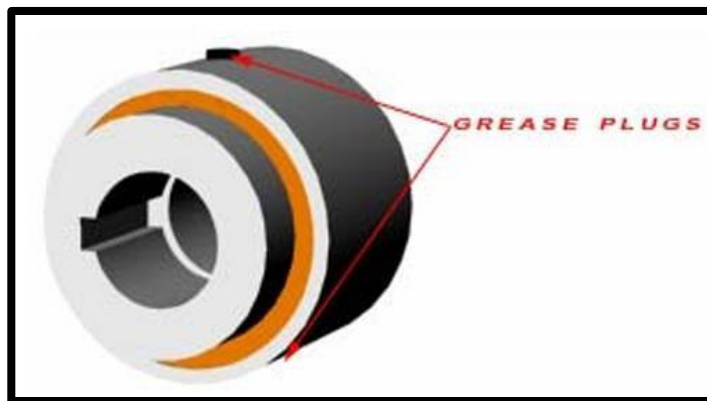


Figura 3 - 3: Acoplamiento entre ejes del banco dinamométrico.

Nota. Reimpreso de MD-AWD-150 Series manual (p. 37), por Mustang Dynamometer, 2013. Copyright 2012 por Ganzcorp Investments, Inc. Mustang Dynamometer.

3.5.2 Mantenimiento preventivo a unidad de absorción de potencia (PAU)

Entre el devanado del estator y el rotor se establece un campo magnético, responsable de aplicar la carga electromagnética sobre el movimiento de los rodillos durante la ejecución de las mediciones y ensayos. Ambos elementos operan con un entrehierro muy reducido, condición necesaria para garantizar la correcta formación del campo magnético y el desempeño del sistema.

Por este motivo, las actividades de mantenimiento contemplan la verificación y control dimensional del entrehierro entre el rotor y los devanados del estator, a fin de asegurar que se mantengan dentro de las tolerancias especificadas por el fabricante.

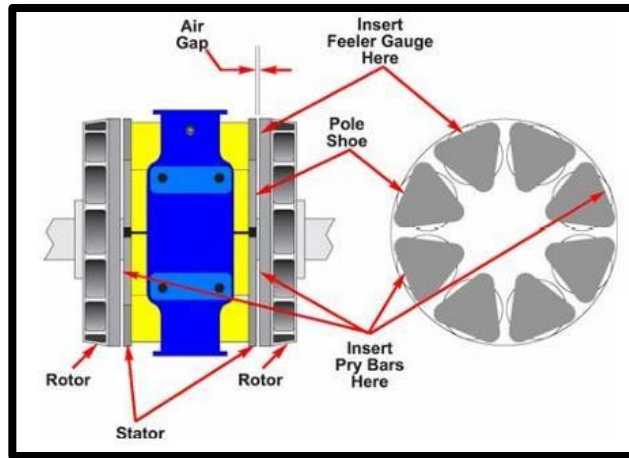


Figura 3 - 4: Metodo de inspección a PAU de banco dinamométrico.

Nota. Reimpreso de MD-AWD-150 Series manual (p. 39), por Mustang Dynamometer, 2013. Copyright 2012 por Ganzcorp Investments, Inc. Mustang Dynamometer.



Figura 3 - 5: Galga de espesores.

Nota. Imagen recuperada de Stokker (s. f.).

<https://media.stokker.com/prod/thumb/t/411/411011%26V OG.jpg?v=20251127>

Medir el entrehierro entre el rotor y la zapata polar con el rotor bloqueado. Se mide con una galga de espesores, sin permitir la rotación del rotor (se recomienda marcar el zapato con tiza los ya medidos). La diferencia entre ambas lecturas corresponde al juego axial del rodamiento, el cual no debe superar 0,005"; de exceder este valor, se debe consultar al fabricante para instrucciones de ajuste.

Además, se debe realizar verificación de los entrehierros; del rotor utilizando galgas de espesores, mida y calcule el promedio de los ocho (8) entrehierros en cada lado del absorbedor de potencia. El entrehierro promedio por lado debe estar entre 0,053" y 0,057".

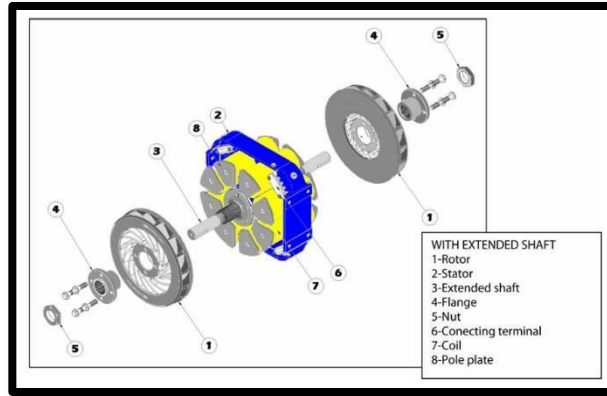


Figura 3 - 6: Componentes PAU de banco dinamométrico.

Nota. Reimpreso de MD-AWD-150 Series manual (p. 40), por Mustang Dynamometer, 2013. Copyright 2012 por Ganzcorp Investments, Inc. Mustang Dynamometer.

3.5.3 Limpieza y prevención de la corrosión

- Limpieza superficial del dinamómetro: Al momento de realizar la limpieza, solo debe usar un paño que se haya humedecido ligeramente con agua o un removedor suave de grasa o aceite. Queda estrictamente prohibida grandes cantidades de agua o agua a presión.
- Limpieza del pozo donde está instalado el dinamómetro: El pozo en el que se instaló el dinamómetro debe limpiarse de todos los objetos y escombros que puedan caer. Se puede usar un pequeño raspador de pintura para aflojar la suciedad acumulada. Cualquier exceso de grasa que puede haber sido arrojado desde partes móviles debe ser limpiado. También asegurarse de que los drenajes estén limpios y libres de suciedad para evitar que el agua se acumule y cause corrosión.
- Prevención de corrosión: Luego de limpiar el dinamómetro asegurarse de utilizar un aerosol anticorrosivo en todo lo expuesto de material de metal para evitar que la oxidación u otras formas de corrosión lo dañen.

3.5.4 Tabla de mantenimiento preventivo por tiempo

| Mantenimiento preventivo por tiempo | | | | | | |
|--|--------|---------|---------|---------|---------|--|
| Procedimiento de mantenimiento | Rodaje | Semanal | Mensual | 3 meses | 6 meses | |
| Lubricación | | | | | | |
| Acoplamiento elemento PAU. | | | X | | | |
| Acoplamiento entre ejes | | | X | | | |
| Soporte de rodamientos | | | X | | | |
| Inspección y ajuste | | | | | | |
| Tensión de la correa | X | X | X | | | |
| Inspección de torque de pernos estructurales | X | | | X | | |
| Sensor de velocidad | | | X | | | |
| Rotor y bobinas de PAU. | | | | | X | |
| Líneas de aire | | | | X | | |
| Limpieza y evitación de corrosión | | | | | | |
| Limpieza superficial de banco dinamométrico | | | X | | | |
| Limpieza de pozo del banco dinamómetro | | | | | X | |
| Aplicación de anticorrosivo en elementos expuestos | | | | X | | |

Tabla 5: Tabla de mantenimiento preventivo por tiempo.

Nota. Adaptado de *MD-AWD-150 Series manual* (p. 63), por Mustang Dynamometer, 2013. Copyright 2012 por Ganzcorp Investments, Inc. Mustang Dynamometer.

3.5.5 Tabla de solución de problemas del banco dinamométrico

| Problema | Causa posible | Corrección |
|--------------------------|---|---|
| Juego de rodillos | | |
| Vibración y/o ruido | El marco estructural del dinamómetro no está asegurado al piso. | Verificar los pernos de anclaje en el marco del dinamómetro y apriételos según las especificaciones adecuadas. |
| | El dinamómetro no está nivelado con el piso. | Nivelar el dinamómetro y asegurarse de que las cuñas estén colocadas bajo el marco donde sea necesario. |
| | El acoplamiento del rodillo está fuera de tolerancia o desalineado. | Reparar o realinear de acuerdo con las instrucciones de fábrica. |
| | Un acoplamiento entre ejes puede estar desgastado. | Reemplazar el acoplamiento de acuerdo con las instrucciones de fábrica. |
| | Bancada del rodillo no están aseguradas al marco. | Apretar los pernos según las especificaciones adecuadas. |
| | Falla de rodamientos en los rodillos. | Reemplazar los rodamientos de acuerdo con las instrucciones de fábrica. |
| | El rodillo ha girado sobre el rodamiento y está desgastado. | Reemplazar los rodamientos de acuerdo con las instrucciones de fábrica. |
| | El rodillo está desbalanceado. | Verificar si hay algún punto donde se haya desprendido un peso del rodillo; verificar el desgaste del eje del rodillo: normalmente se requiere un rodillo nuevo o apretar los tornillos prisioneros del rodamiento. |

Tabla 6: Solución de problemas para conjunto de rodillos de banco dinamométrico.

Nota. Adaptado de MD-AWD-150 Series manual (p. 42), por Mustang Dynamometer, 2013. Copyright 2012 por Ganzcorp Investments, Inc. Mustang Dynamometer.

| Problema | Causa posible | Corrección |
|---|---|--|
| Sistema de elevación de aire | | |
| Placa elevadora no desciende | Interruptor de anulación de plataforma en posición “up” (subir). | Coloque el interruptor de anulación de plataforma en la posición “down” (bajar). |
| Placa elevadora no sube | El suministro de aire al dinamómetro no se ha encendido. | Encienda el suministro de aire. Debe entregarse al dinamómetro aire seco, regulado a un máximo de 120 psi. |
| | La bobina del solenoide del sistema de elevación ha fallado. | Verificar que exista conexión en pines 8 y 9 de la unidad de control. Si es necesario, reemplace la bobina del solenoide. |
| | La válvula accionada por el solenoide del sistema de elevación ha fallado. | Reemplazar la válvula. |
| | La fuente de alimentación no funciona correctamente. | Revisar todas las conexiones en la unidad de control y en los cables de la válvula solenoide. Si es necesario, reparar o reemplazar los componentes defectuosos. |
| | Se muestra una velocidad de rodillo distinta de cero. | Verificar el sensor de velocidad y su cableado. |
| | Presión de aire baja | Ajustar la presión de aire seco y regulado suministrada al dinamómetro a un máximo de 120 psi. |
| | Interruptor de presión de aire defectuoso o cableado incorrectamente. | Verificar el cableado correcto y pruebe la apertura y el cierre de los contactos del interruptor de presión. |
| | Cable o conector defectuoso. | Inspeccionar todo el cableado eléctrico y reemplazar cualquier cable y/o conector defectuoso. |
| La señal digital de habilitación desde el computador host no está presente. | Diagnosticar el sistema de software. Diagnosticar la unidad de control del dinamómetro. | |

| | | |
|-----------------------------|--|--|
| Los rodillos no se bloquean | Fuga de aire en el sistema neumático. | Inspeccionar y reemplazar cualquier tubería, conector y/o fuelle neumático defectuoso. |
| | Faltan pasadores en los puntos de elevación. | Reemplazar los pasadores faltantes. |
| | Presión de aire baja. | Ajustar la presión de aire seco y regulado suministrada al dinamómetro a un máximo de 120 psi. |

Tabla 7: Solución de problemas para sistema de elevación de aire de banco dinamométrico.

Nota. Adaptado de MD-AWD-150 Series manual (p. 43), por Mustang Dynamometer, 2013. Copyright 2012 por Ganzcorp Investments, Inc. Mustang Dynamometer.

| Problema | Causa posible | Corrección |
|---------------------------------------|--|---|
| Problemas operacionales | | |
| Valores de visualización no estables. | Conexión floja en la interfaz. | Asegurarse de que todos los conectores de los cables estén correctamente asentados. Verificar que todas las conexiones dentro de la caja de empalmes estén seguras. |
| | Mala conexión de la celda de carga. | Revisar y, si es necesario, reparar todas las conexiones de la celda de carga. |
| Sin lectura de velocidad. | Mala conexión eléctrica. | Verificar todas las conexiones eléctricas del sistema. |
| | Entrehierro incorrecto entre el captador magnético y el engranaje. | Verificar que el entrehierro esté ajustado a 0,020". |
| | Falla del captador magnético. | Reemplazar el captador magnético. |

Tabla 8: Solución de problemas operacionales del banco dinamométrico.

Nota. Adaptado de MD-AWD-150 Series manual (p. 44), por Mustang Dynamometer, 2013. Copyright 2012 por Ganzcorp Investments, Inc. Mustang Dynamometer.

3.6 PROCEDIMIENTOS DE MANTENCIÓN Y VERIFICACIÓN PARA ANALIZADOR DE GASES

El analizador de gases al ser un equipo indispensable en el proceso de control de emisiones, este requiere calibraciones y mantenencias periódicas para verificar el cumplimiento normativo ambiental vigente, es por ello que se detallaran estos procedimientos definiendo actividades rutinarias necesarias para asegurar su exactitud y disponibilidad dentro los lineamientos de una planta de revisión técnica.

3.6.1 Proceso de mantención y verificación diario

- Verificar el sistema de drenado de la trampa de agua exterior, así como el estado de los filtros, drenando manualmente cualquier contenido de agua y verificando que no exista vaporización en el interior de las mangueras, teniendo cuidado de reconectar mediante un apriete uniforme, permitiendo que los o-rings hagan su trabajo de hermeticidad.
- Realizar una “prueba de fugas” para comprobar la hermeticidad del sistema
- Permitir que el equipo en forma automática realice un “ajuste a cero”, supervisando que no exista HC altos producto de un “HC Hang-up”, y que los valores de los demás componentes se encuentren dentro de los parámetros normales para el medio ambiente.
- En caso necesario repetir el comando de “ajuste a cero”, haciendo fluir gas cero por el sistema, hasta que los HC se estabilicen en valores normales. Y si fuera necesario, soplear la manguera y repetir el comando.
- Para obtener la mayor precisión se recomienda efectuar la calibración de rutina con gas patrón después de 30 minutos de operación, asegurándose de encontrarse a la temperatura normal de operación.

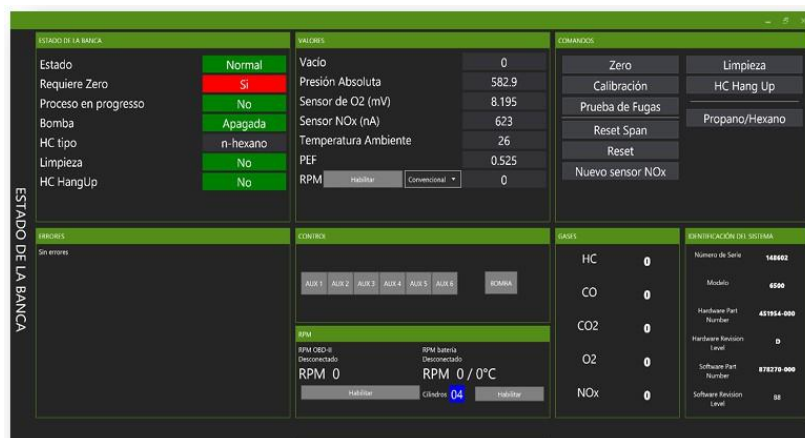


Figura 3 - 7: Pantalla de monitoreo de analizador de gases.

Nota. Adaptado de Manual de usuario progress five (p. 23), por Progress Five 2022

3.6.2 Proceso de mantención y verificación cada 2 días

Adicionalmente al procedimiento anterior, comprobar la calibración del equipo, con gas patrón, comprobando que la presión de sus cilindros no sea excesiva; abra las válvulas de los gases y comande la rutina automática de calibración del equipo; al terminar tener cuidado de cerrar las válvulas de los gases para evitar el desperdicio.

3.6.3 Proceso de mantención y verificación semanal

- Lavar los filtros de policarbonato con agua y jabón, cepillando suavemente cualquier partícula o residuo que tuvieran adheridos, en caso necesario sumergirlos por 8 horas en una solución de Hipoclorito de Sodio (Cloro), para lo cual es muy conveniente contar con un juego adicional de filtros y cambiarlos semanalmente para evitar el riesgo de detener una línea.

Al reinstalarlos cuidar la hermeticidad del apriete y verificar los pasos de hermeticidad y de prueba de fugas recomendados para el apartado de “proceso de mantención y verificación semanal”.

- Sopletear la manguera de muestra completa cada semana para eliminar impurezas.

3.6.4 Proceso de mantención y verificación mensual

- El filtro secundario de papel debe ser revisados y reemplazados según el uso del equipo, al menos una vez mensualmente.
- Lavar el interior de la manguera de muestra con agua y detergente, preferentemente uno que indique contener cloro.
- Atender a las indicaciones y mensajes de la banca que se presenten en la pantalla del analizador, como es el caso de reemplazo de sensores de NOx y de oxígeno, de revisar la presión de los tanques de gas de calibración, etc. Y reemplazarlos cuando sea necesario.

3.7 DIAGRAMA DE PARETO

El diagrama de Pareto que se realizará será en base al riesgo global (RG) desarrollado en el análisis de criticidad que muestra la contribución de cada componente al riesgo total del sistema, donde las barras presenten en los gráficos representarán el RG y la línea representará el porcentaje acumulado del riesgo. La línea horizontal marca el umbral del 80%, utilizado para identificar los “vitales pocos”, es decir, los componentes que concentran la mayor proporción del riesgo y que, por tanto, deben priorizarse en el plan de mantenimiento.

3.7.1 Diagrama de Pareto a banco dinamométrico

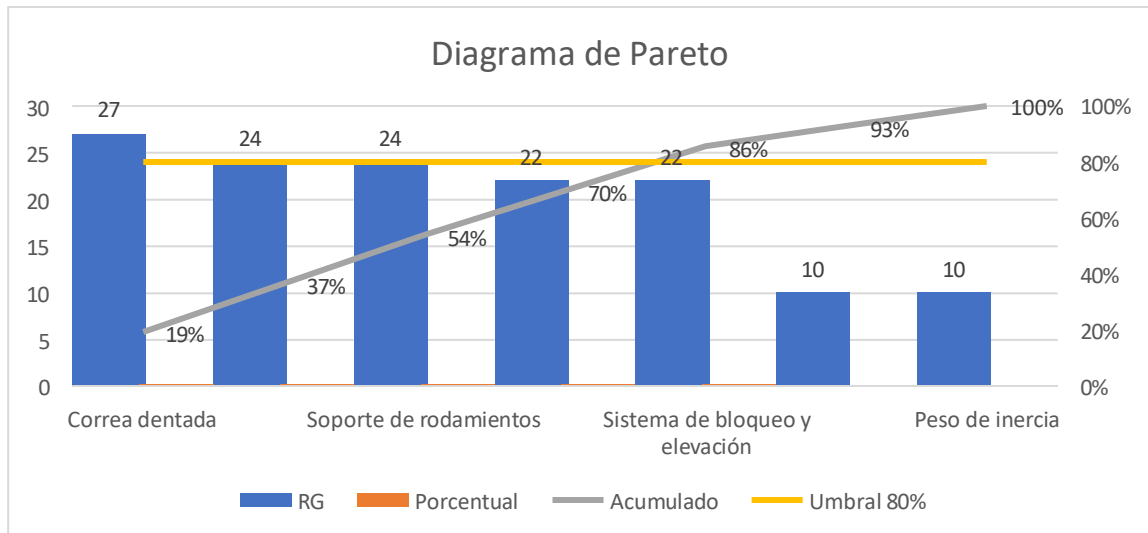


Figura 3 - 8: Diagrama de Pareto a banco dinamométrico.

Nota. Elaboración propia.

Según los resultados, los componentes correa dentada (RG=27), rodillos (RG=24), soporte de rodamientos (RG=24), acoplamiento (RG=22) y sistema de bloqueo/tensado (RG=22) acumulan aproximadamente 86% del RG total, superando el umbral del 80%. En consecuencia, estos cinco elementos se consideran prioritarios, ya que intervenirlos y controlarlos de manera preventiva genera el mayor impacto potencial en la reducción del riesgo global. Los componentes estructural y el peso de inercia, ambos con RG=10 aportan un porcentaje menor del riesgo total, por lo que su gestión puede abordarse con una prioridad secundaria, manteniendo controles periódicos y acciones correctivas cuando corresponda.

3.7.2 Diagrama de Pareto a sistema de control y monitoreo de banco dinamométrico

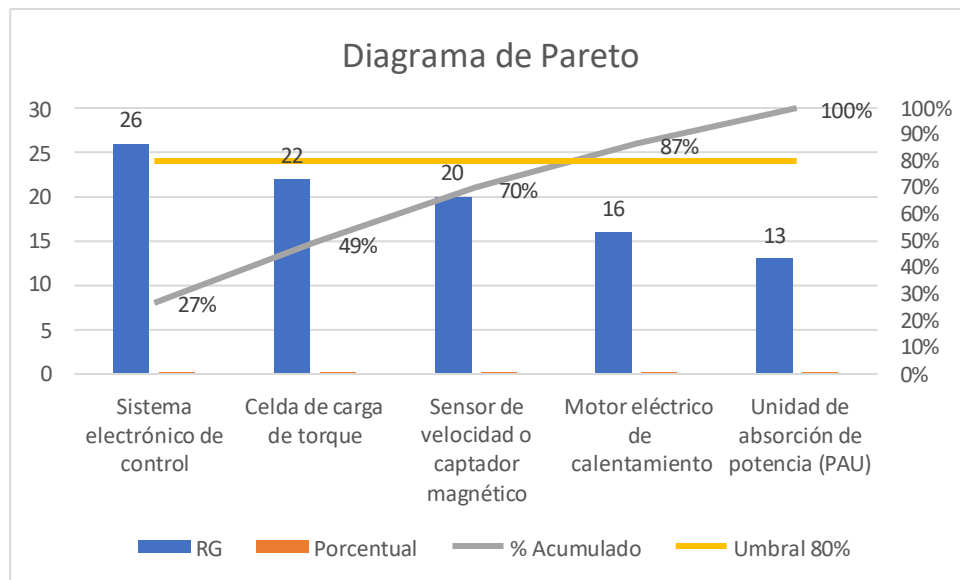


Figura 3 - 9: Diagrama de Pareto a sistema de control y monitoreo.

Nota. Elaboración propia.

En este caso, los resultados evidencian que el sistema electrónico de control (RG=26), la celda de carga de torque (RG=22), el sensor de velocidad (RG=20) y el motor eléctrico de calentamiento (RG=16) concentran aproximadamente 87% del riesgo total acumulado, superando el umbral del 80%. Por lo tanto, estos elementos corresponden a los “vitales pocos” y deben ser abordados con prioridad en el plan de mantenimiento preventivo, inspecciones y estrategias de contingencia. Finalmente, la unidad de absorción de potencia (PAU) presenta RG=13, que si bien puede tener consecuencias críticas cuando falla, su contribución al RG total en este análisis es menor, por lo que se gestiona con una prioridad relativa inferior respecto de los cuatro componentes que superan el umbral acumulado.

3.7.3 Diagrama de Pareto a analizador de gases

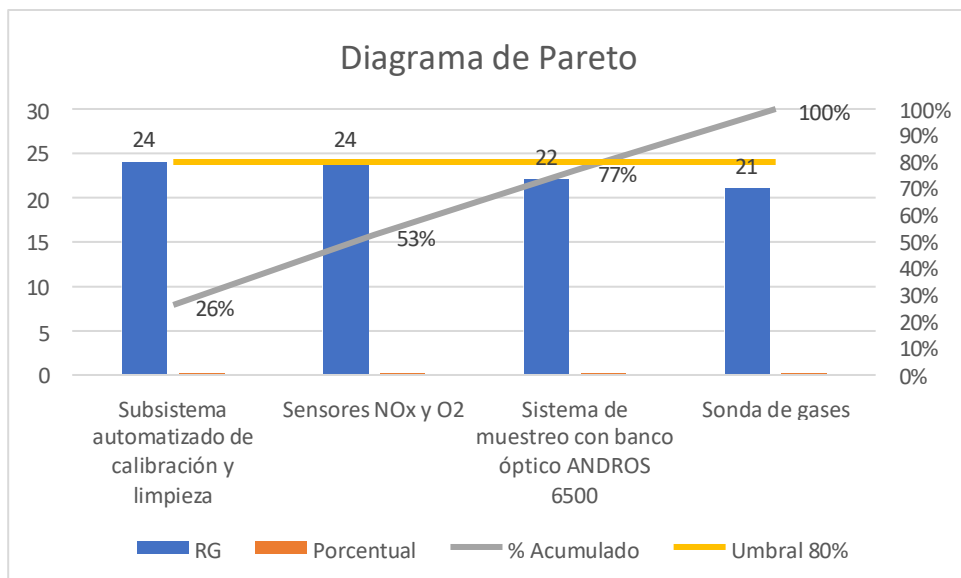


Figura 3 - 10: Diagrama de Pareto a analizador de gases.

Nota. Elaboración propia.

En este caso, el RG se distribuye de manera relativamente homogénea entre los subsistemas analizados. La curva acumulada cruza el umbral del 80% recién al incluir el tercer componente, lo que indica que no existe un componente crítico dominante. En consecuencia, la estrategia de mantenimiento preventivo debe considerar intervenciones y controles sistemáticos como se detalla en el plan preventivo en todos los componentes evaluados.

3.8 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

El siguiente diagrama de Ishikawa (causa-efecto), construido bajo el enfoque 6M (máquina, método, mano de obra, materiales, medición y medio ambiente), se utilizará para identificar y organizar de forma sistemática las posibles causas que pueden generar la indisponibilidad del banco dinamométrico ASM y analizador de gases en el proceso de medición de emisiones de gases que se implemente en las revisiones técnicas. Su propósito es mostrar que el problema no depende de un único componente, sino de la interacción entre fallas técnicas, procedimientos, factores humanos y condiciones de operación. A partir de esta estructura se facilita la priorización de acciones preventivas y correctivas, definiendo controles concretos (inspecciones, calibraciones, mantenimiento preventivo y mejoras de entorno) orientados a reducir la probabilidad de fallas cumpliendo con la normativa vigente.

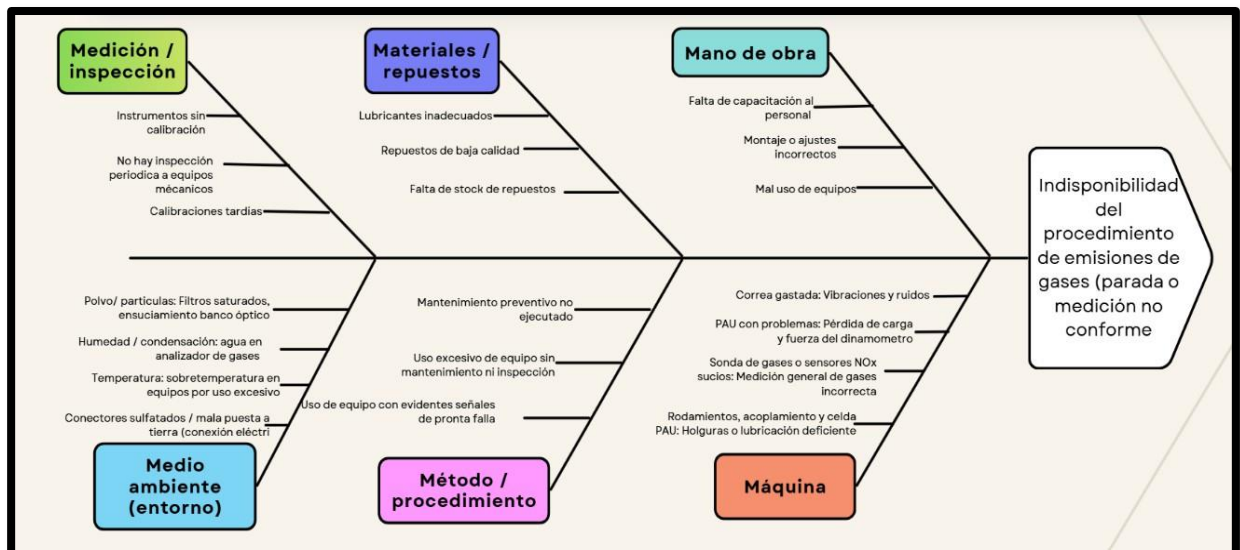


Figura 3 - 11: Diagrama de Ishikawa.

Nota. Elaboración propia.

Las causas listadas corresponden a hipótesis técnicas organizadas por 6M; las de mayor impacto se seleccionaron según el ranking de criticidad (RG) y se validan mediante inspecciones, calibraciones y registros.

CAPITULO IV: EVALUACIÓN ECÓNOMICA

4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PLANTA DE REVISIÓN TÉCNICA

Con la nueva licitación, en la que se propuso reemplazar la medición de gases estática por una medición dinámica mediante el procedimiento ASM, la planta de revisión técnica de Concepción debió realizar una inversión significativa para adecuar su sistema y cumplir con los nuevos requerimientos.

En este apartado se considerarán únicamente los costos asociados al proceso de medición de emisiones de gases, excluyendo otros gastos de implementación o mejoras fuera de ese alcance.

Para ello, fue necesario implementar modificaciones tanto a nivel estructural como en los equipos destinados a la medición de gases.

El objetivo de esta evaluación es cuantificar la inversión realizada específicamente en el área de emisiones de gases y analizar su impacto económico en la planta de revisión técnica. Además, de comparar las ganancias obtenidas en condiciones normales de operación con las pérdidas asociadas a periodos de indisponibilidad, ya sea por fallas en los dinamómetros o en el analizador de gases, equipos críticos e indispensables para ejecutar el procedimiento de inspección vehicular.

| Componente | Cantidad | Precio CLP |
|--|-----------------|----------------------|
| Dinamómetros marca Mustang MD-100-M | 5 | \$193.486.250 |
| Analizadores de gases marca Progress Five | 5 | \$52.317.190 |
| | Total | \$245.803.440 |

Tabla 9: Inversión a equipos de medición de gases

Nota. Elaboración propia.

Estos valores expresados por la revisión técnica detallan solamente el valor de estos equipos, si consideramos transporte e instalación de estos equipos ya que para el banco dinamométrico se necesita realizar un foso para que el equipo esté a nivel del suelo el monto asciende a aproximadamente a \$300.000.000, lo que es una inversión alta, ya que solamente consideramos el apartado de emisiones de gases.

A continuación, se mostrarán valores de los últimos 3 meses de operación (noviembre, octubre y septiembre del 2025) y un mes crítico de referencia (Junio 2025) de la planta de revisión técnica.

Hay que considerar que:

- Venta: Son los ingresos por servicios facturados.
- Gasto personal: Costos asociados a los trabajadores requeridos para operar la planta de revisión técnica durante el mes.
- Depreciación: Es el reconocimiento contable de la pérdida de valor de los activos fijos utilizados en la operación debido a uso y envejecimiento.
- OPEX: Son gastos operacionales donde se incluye seguridad, aseo, servicios básicos y servicios generales.
- EBIT: Mide la rentabilidad operativa sin considerar gastos por intereses, deuda o impuestos.
- Montos en CLP, venta neta (sin IVA).

| Noviembre 2025 | | | | |
|-----------------|----------------|-------------------|--------------|--------------|
| Venta | Gasto personal | Depreciación | OPEX | EBIT |
| \$98.342.000 | \$24.100.000 | \$19.064.000 | \$15.115.000 | \$40.063.000 |
| Equipo afectado | Duración | Líneas operativas | Margen EBIT | |
| Ninguno | Normal | 5 de 5 | 40,7% | |

Tabla 10: Valores económicos del mes de noviembre 2025.

Nota. Elaboración propia.

Durante el mes de noviembre del año 2025 no se registró una indisponibilidad significativa en los equipos de medición de emisiones de gases que afectara las ganancias esperadas.

| Octubre 2025 | | | | |
|-----------------|----------------|-------------------|--------------|------------|
| Venta | Gasto personal | Depreciación | OPEX | EBIT |
| \$88.412.000 | \$22.158.000 | \$18.400.000 | \$23.056.000 | 24.798.000 |
| Equipo afectado | Duración | Líneas operativas | Margen EBIT | |
| Dinamómetro | 7 días | 4 de 5 | 34,9% | |

Tabla 11: Valores económicos del mes de octubre 2025.

Nota. Elaboración propia.

Durante el mes de octubre del año 2025 se registró una indisponibilidad en el dinamómetro dejando la planta funcionando solo con 4 de 5 líneas durante 1 semana. Aquí se puede apreciar que los equipos de medición de emisiones de gases afectarán las ganancias

esperadas.

| Septiembre 2025 | | | | |
|---------------------|----------------|-------------------|--------------|--------------|
| Venta | Gasto personal | Depreciación | OPEX | EBIT |
| \$101.178.000 | \$24.399.000 | \$19.510.000 | \$21.395.000 | \$35.334.000 |
| Equipo afectado | Duración | Líneas operativas | Margen EBIT | |
| Analizador de gases | 3 días | 4 de 5 | 28,0% | |

Tabla 12: Valores económicos mes de septiembre 2025.

Nota. Elaboración propia.

Durante el mes de septiembre del año 2025 se registró una indisponibilidad en el analizador de gases dejando la planta funcionando solo con 4 de 5 líneas durante 3 días. Aquí se puede apreciar que los equipos de medición de emisiones de gases como afectan a las ganancias esperadas.

| Junio 2025 | | | | |
|--------------------------|---|-------------------|--------------|--------------|
| Venta | Gasto personal | Depreciación | OPEX | EBIT |
| \$62.467.000 | \$22.485.000 | \$17.517.000 | \$29.792.000 | -\$7.327.000 |
| Equipo afectado | Duración | Líneas operativas | Margen EBIT | |
| Frenometro y dinamómetro | 14 días de falla. 7 días de cierre temporal. | 4 de 5 | -11,7% | |

Tabla 13: Valores económicos del mes de junio 2025.

Nota. Elaboración propia.

El mes de junio considerado el peor mes respecto a ganancia del presente año, tuvo consigo una falla en el equipo de medición de frenos y una falla eléctrica en el dinamómetro de una línea durante 2 semanas de la cual estuvo operando la planta, además de un cierre temporal de 1 semana debido al mal clima de la ciudad, teniendo así una diferencia significativa con respecto a meses normales de operación.

CONCLUSIÓN

El banco dinamométrico con procedimiento ASM y el analizador de gases son activos determinantes para que una planta de revisión técnica mantenga continuidad operacional y cumpla las exigencias del MTT; cuando cualquiera de los dos pierde disponibilidad, el efecto se traduce en detención de la línea, pérdida de capacidad diaria, riesgo de no conformidad y, en consecuencia, impacto económico.

En este trabajo se aplicó una metodología de análisis de criticidad basada en criterios de seguridad, cumplimiento normativo, impacto operativo, impacto económico, mantenibilidad/tiempo de reposición y probabilidad, usando una escala cualitativa 1-3 y un riesgo global definido como $RG = IC \times P$, lo que permitió ordenar y priorizar los modos de falla relevantes para el contexto de una PRT.

Como resultado, se identificaron elementos cuyo fallo genera el mayor riesgo para la operación tanto en el banco dinamométrico como en el analizador de gases, que en conjunto son activos importantes y esenciales dentro del proceso de inspección de un vehículo en una planta de revisión técnica.

Con base en esa identificación de elementos, se estructuró un plan de mantenimiento preventivo y rutinas de verificación, orientados a reducir fallas repetitivas y evitar detenciones no programadas, alineando la gestión del mantenimiento con el objetivo de asegurar disponibilidad y cumplimiento normativo.

En síntesis, el estudio entrega una base técnica para decidir dónde intervenir primero, con qué frecuencia dejando así justificado que la estrategia más costo-efectiva para la planta es prevenir y controlar las fallas de estos equipos críticos antes de que se transformen en indisponibilidad del servicio.

BIBLIOGRAFÍA

- Mustang Dynamometer. (2002). *Manual de mantenimiento y servicio (MD-ASM-97-XX-HD Chassis Dynamometer)*. Ganzcorp Investments, Inc. dba Mustang Dynamometer.
- Mustang Dynamometer. (2013). *MD-AWD-150 series manual (Rev. B)*. Ganzcorp Investments, Inc. dba Mustang Dynamometer.
- Mustang Dynamometer. (1998). *MD-100 series chassis dynamometer: Maintenance & service manual*.
- Mustang Dynamometer. (2002). *MD-100-M-HD series chassis dynamometer: Maintenance & service manual*.
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2025, 29 de agosto). *Revisiones técnicas tipo B: Manual de procedimientos e interpretación de resultados (Versión 15.2)*. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.
- Progress Five Analizadores Progresivos de México, S. A. de C. V. (s. f.). *Progress five: Manual de usuario* [Manual]. <https://www.progressfive.com/>
- Progress Five Analizadores Progresivos de México, S. A. de C. V. (s. f.). *Analizador de gases "Progress five®": Manual técnico, especificaciones y servicio* [Manual técnico]. <https://www.progressfive.com/>
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (Chile). (1990, 29 noviembre). *Decreto 156: Reglamenta revisiones técnicas y la autorización y funcionamiento de las plantas revisoras*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://bcn.cl/3ovlq>
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Subsecretaría de Transportes. (2007, 24 de abril). *Decreto 149: Establece norma de emisión de NO, HC y CO para el control del NOx en vehículos en uso, de encendido por chispa (ciclo Otto)*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.leychile.cl/N?i=260350&f=2018-03-12&p=>