



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Departamento de Obras Civiles

**Análisis Comparativo de planes de mantenimiento y
curvas de desempeño generados por PAVER y un
Sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios
desarrollado para Chile**

Memoria de Título presentada por

Camila Belén Muñoz Mondaca

como requisito parcial para optar al título de la carrera de

Ingeniería Civil

Profesor Guía
Gabriel García Saá
Alelí Osorio Lird

Octubre de 2025



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 Comparativo de planes de mantenimiento y curvas de desempeño generados por PAVER y un Sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios desarrollado para Chile

Nombre del candidato(a): Camila Belén Muñoz Mondaca

Carrera / Grado: Ingeniería Civil

Campus: Santiago San Joaquín ; **Departamento:** Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Alelí Osorio y Gabriel García, 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

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:

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: 10/Nov/2025 ; **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 10/No/2025 ; **Firma:** 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

TITULO DE LA TESIS:

Análisis Comparativo de planes de mantenimiento y curvas de desempeño generados por PAVER y un Sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios desarrollado para Chile

AUTOR:

Camila Belén Muñoz Mondaca

TRABAJO DE MEMORIA, presentado como requisito parcial para optar al título de la carrera de INGENIERIA CIVIL de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Nombre

Firma

Prof. Guía

Miembro 1 Comisión

Miembro 2 Comisión

Santiago, Chile, 29 octubre de 2025

Análisis Comparativo de planes de mantenimiento y curvas de desempeño generados por PAVER y un Sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios desarrollado para Chile

Camila Muñoz Mondaca¹, Gabriel García Saá², Alelí Osorio Lird³

¹Universidad Técnica Federico Santa María

Tabla de contenido

1	Resumen	5
2	Introducción.....	6
3	Objetivo	7
3.1	Objetivo general.....	7
3.2	Objetivos específicos.....	7
4	Marco Teórico	7
4.1	SGPA.....	7
4.2	Infraestructura aeroportuaria.....	7
4.3	Softwares de SGPA.....	7
5	Metodología, plan de trabajo	8
5.1	Objetivo específico 1:.....	9
5.2	Objetivo específico 2.....	9
6	Análisis del sistema de gestión de pavimentos PAVER.....	10
6.1	Ingreso de datos	11
6.2	Reportes.....	11
6.3	Generación de planes	16
6.4	Ingreso de trabajos	17
7	Comparación y análisis curvas de desempeño	18
7.1	Curvas Aeródromo La Florida	19
7.1.1	Curvas Aeródromo La Florida con modelo tráfico y PCI	22
7.2	Curvas Aeropuerto Andrés Sabella.....	23
8	Comparación y análisis planes de mantenimiento	25
9	Conclusión y recomendaciones.....	26
10	Referencias	29
11	Anexos.....	31
11.1	Anexo ingreso de datos PAVER.....	31
11.2	Anexo Curvas de familia	33
11.2.1	Curvas de familia Aeródromo La Florida	33
11.2.2	Curvas de familia Aeropuerto Andrés Sabella	34

11.2.3	Curvas de familia Aeródromo Pichoy.....	36
11.3	Anexo Política de M&R del tipo preventiva	38
11.4	Anexo Política de M&R del tipo “safety”	39
11.5	Anexo resultados del módulo “M&R Work Planning”	40
11.6	Anexo curvas de familia red primaria	40

1 Resumen

La gestión eficiente de pavimentos aeroportuarios es fundamental para garantizar la seguridad y sostenibilidad de la infraestructura. En Chile, la Dirección de Aeropuertos (DAP) ha utilizado el software internacional PAVER principalmente como herramienta para el registro de inventarios y el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI), más que como un sistema integral para la planificación y toma de decisiones en mantenimiento. Sin embargo, su uso ha evidenciado limitaciones de adaptación a las condiciones locales. En este contexto, el presente trabajo desarrolla un análisis comparativo entre PAVER y componentes de un Sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios (SGPA) desarrollado para Chile, evaluando sus capacidades de predicción del deterioro y generación de planes de mantenimiento. Se emplearon datos reales de auscultación de los aeropuertos La Florida y Andrés Sabella, comparando las curvas de desempeño y los planes generados por ambos sistemas. Los indicadores estadísticos raíz del error cuadrático medio (RMSE), criterio de información de Akaike (AIC) e índice de similitud de curvas (SCI) permitieron evaluar precisión y similitud entre modelos. Los resultados muestran que PAVER alcanza menores valores de RMSE y AIC, reflejando un mejor ajuste debido a su naturaleza empírica, mientras que el SGPA, basado en un modelo probabilístico de cadenas de Márkov, presenta mayor dispersión al no forzar coincidencias entre valores observados y estimados. No obstante, ambos sistemas mostraron una alta similitud en las proyecciones del índice PCI. PAVER destaca por su rapidez, flexibilidad y respaldo normativo, aunque con dificultades de compatibilidad de datos. El SGPA, en cambio, presenta ventajas en sostenibilidad al integrar análisis de impacto ambiental, mostrando un alto potencial como herramienta nacional adaptable para la gestión de pavimentos aeroportuarios. Además, se proyecta que este sistema incorpore nuevos modelos predictivos complementarios, entre ellos uno basado en técnicas de machine learning y otro que relaciona el PCI con el nivel de tráfico, lo que permitirá fortalecer su capacidad de predicción y consolidarlo en el futuro como una herramienta integral de planificación de mantenimientos.

Palabras clave: PAVER, SGPA desarrollado para Chile, índice de condición de pavimentos (PCI), curvas de desempeño

2 Introducción

La gestión eficiente de pavimentos aeroportuarios es un desafío global debido a la necesidad de optimizar recursos, garantizar la seguridad y mantener la calidad del servicio en los aeropuertos. Sin embargo, en países como Chile, esta tarea presenta dificultades adicionales derivadas de condiciones climáticas y geográficas específicas, y la falta de instrumentos que permitan una medición rigurosa y adaptada a estas necesidades (de Solminihac et al., 2018; Tolmo, 2020). Los aeropuertos, al ser una infraestructura clave para la economía, juegan un rol crucial en el transporte de recursos y personas (Gendreau & Soriano, 1998). Por ello, contar con un Sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios (SGPA) eficaz no solo es relevante, sino necesario.

Actualmente, en Chile, la falta de implementación de un SGPA optimizado y desarrollado a las necesidades locales genera consecuencias importantes. Entre ellas, se encuentran el aumento de costos operativos, la reducción en la calidad del servicio, y el posible compromiso de la seguridad de los usuarios (Universidad Técnica Federico Santa María & Dirección de Aeropuertos, 2023). Estas problemáticas se agravan debido a limitaciones en la predicción precisa del deterioro de los pavimentos y la dependencia de métodos basados en experiencia en lugar de datos confiables (Airport Engineering Division AAS-, n.d.; Bingham, 2007). Además, la personalización de herramientas para las condiciones específicas de Chile sigue siendo un desafío no resuelto, dificultando la optimización de los recursos disponibles (Tolmo, 2020).

Frente a esta necesidad, la Dirección de Aeropuertos (DAP) ha utilizado históricamente el software internacional PAVER, principalmente como herramienta para el registro y control del Índice de Condición del Pavimento (PCI), más que como un sistema integral para la planificación del mantenimiento de pavimentos. Este software se adoptó porque permite realizar evaluaciones sistemáticas del estado de los pavimentos mediante el índice PCI, basado en la norma ASTM D5340. Su estandarización internacional, junto con la posibilidad de modelar el deterioro y generar reportes de planificación a partir de datos estructurados, lo convirtieron en una herramienta confiable para gestionar la infraestructura aeroportuaria a nivel nacional (Shahin et al., 2017). Además, el uso de PAVER se encuentra alineado con los lineamientos técnicos de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), ya que este software se basa en la metodología PCI, definida en la norma ASTM D5340, la cual es reconocida por la OACI como un método apropiado para evaluar pavimentos aeroportuarios. La DAP, como organismo público encargado de la infraestructura aeroportuaria, se rige por lo establecido en el Reglamento de Aeródromos (DS N°173), que instruye seguir las normas y métodos recomendados por OACI (Ministerio de defensa de Chile, 2005).

En respuesta a esta necesidad, actualmente se está desarrollando el proyecto FONDEF ID23I10113 “Desarrollo y Validación de un Sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios para la Red Primaria de Chile”, liderado por la Universidad Técnica Federico Santa María en colaboración con la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, la Dirección de Aeropuertos (DAP) del MOP y la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Este proyecto busca crear e implementar un Sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios (SGPA) nacional, integrando las distintas componentes elaboradas en investigaciones previas —como modelos de desempeño, bases de datos, estándares de mantenimiento y metodologías de priorización— en una plataforma computacional adaptada a las condiciones locales de Chile (Universidad Técnica Federico Santa María & Dirección de Aeropuertos, 2023).

El SGPA en desarrollo se distinguirá por incorporar criterios de sostenibilidad y optimización de recursos, además de nuevos modelos predictivos que incluyen técnicas de machine learning y relaciones entre el PCI y el tráfico aéreo. Estos avances permitirán fortalecer la capacidad del país para planificar

y priorizar intervenciones de mantenimiento en los aeropuertos de la red primaria, pasando de una gestión reactiva a una gestión preventiva y sustentable.

En este contexto este trabajo propone realizar una comparación entre el software PAVER y el SGPA desarrollado para condiciones nacionales, evaluando las diferencias en sus modelos de predicción del deterioro y en la generación de planes de mantenimiento. Para ello, se utilizaron datos reales de auscultación, permitiendo analizar la aplicabilidad de ambos sistemas bajo las condiciones operativas de la red aeroportuaria chilena.

3 Objetivo

3.1 Objetivo general

Desarrollar un análisis comparativo entre los planes de mantenimiento y las curvas de desempeño generados por el software PAVER y por componentes específicos del SGPA diseñado para las condiciones chilenas.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el funcionamiento del software PAVER, para determinar su utilidad en la gestión de pavimentos aeroportuarios, sus fortalezas y limitaciones en un contexto chileno.
- Analizar comparativamente los planes de mantenimiento y las curvas de desempeño generadas por el software PAVER y por componentes específicos del SGPA desarrollado para Chile con el fin de evaluar su adaptabilidad a los datos disponibles.

4 Marco Teórico

4.1 SGPA

Los sistemas de gestión de infraestructura vial son herramientas esenciales para preservar el patrimonio vial, ya que integran procesos de diagnóstico, evaluación, planificación y ejecución. Estos sistemas se componen de tres componentes fundamentales: información, toma de decisiones y estructura organizacional, los cuales, al interactuar de forma conjunta, permiten formular decisiones tanto a nivel de red como a nivel de proyecto (de Solminihac et al., 2018). En el ámbito aeroportuario, la gestión de pavimentos requiere aún mayores exigencias, debido a la necesidad de garantizar la continuidad operativa y la seguridad del tránsito aéreo bajo condiciones críticas, como el desgaste acelerado o las cargas repetitivas de aeronaves (Leder & Sproule, 2013). En Chile, esta función recae en la Dirección de Aeropuertos (DAP), que supervisa y gestiona la infraestructura aeroportuaria nacional.

4.2 Infraestructura aeroportuaria

La infraestructura, por su parte, como se define es el “conjunto de elementos, dotaciones o servicios necesarios para el buen funcionamiento de un país, ciudad o de una organización cualquiera”, por lo tanto, una infraestructura aeroportuaria es todos los elementos presentes en el aeropuerto que se deben gestionar de manera eficiente para así lograr otorgar un servicio a los usuarios bueno y seguro. Esta puede estar compuesta de infraestructura vertical o horizontal, cubriendo terminales de pasajeros y carga, pistas de aterrizaje, plataformas, calles de rodaje y zonas de viraje. Estos componentes se complementan con las edificaciones de servicios operativos y conexos, como la torre de control, hangares, estaciones de policía, accesos y estacionamientos (de Solminihac et al., 2018).

4.3 Softwares de SGPA

El uso de software especializados es fundamental para implementar Sistemas de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios (SGPA) de manera eficiente. Entre los más utilizados se encuentran PAVER y FAA PAVEAIR, ambos basados en el índice PCI, cuya metodología está normalizada por la norma ASTM D5340 (A Al-Rubae et al., 2020). Esta metodología permite evaluar el estado del pavimento mediante inspecciones visuales estandarizadas y proyectar su deterioro con base en datos históricos.

PAVER, desarrollado por Shahin junto al Departamento de Defensa de Estados Unidos. Permite procesar grandes volúmenes de datos, realizar simulaciones presupuestarias y generar reportes técnicos para la toma de decisiones estratégicas en el mantenimiento (Shahin, 2008). De acuerdo con Tofail (2022), PAVER presenta una estructura más robusta para modelar el deterioro de los pavimentos, incluyendo la capacidad de predecir su evolución según la tasa de pérdida de condición. Además, dispone de módulos de mantenimiento y rehabilitación (M&R), lo que permite optimizar recursos en base al rendimiento esperado de las intervenciones.

FAA PAVEAIR, por su parte, es una plataforma en línea gratuita desarrollada por la Administración Federal de Aviación (Airport Engineering Division AAS-, n.d.). Si bien permite realizar inventarios de pavimentos, modelar el deterioro y simular distintos escenarios de mantenimiento, su enfoque es principalmente educativo y no está diseñado para una operación institucional compleja (Tofail, 2022). Su accesibilidad lo hace ideal para entrenamiento y estudios académicos, pero no contempla funcionalidades avanzadas de toma de decisiones ni se adapta fácilmente a condiciones locales o criterios técnicos nacionales.

Además de las herramientas desarrolladas en Estados Unidos, como PAVER y FAA PAVEAIR, que han servido de referencia para la gestión del mantenimiento aeroportuario, diversos países han implementado sus propios SGPA adaptados a sus condiciones operacionales y climáticas. En China, el sistema SHAPMS incorpora tecnologías de GIS y GPS para la recolección georreferenciada de datos y la generación de mapas temáticos que facilitan la planificación del mantenimiento en sus aeropuertos (Chen et al., 2012). En Japón, el sistema PRI (Pavement Rehabilitation Index) se ha utilizado durante más de dos décadas como método objetivo para evaluar el estado superficial de las pistas, calles de rodaje y plataformas mediante índices de deterioro y criterios de rehabilitación (Hachiya et al., n.d.). Por su parte, en Italia, se ha desarrollado un APMS basado en criterios técnicos y económicos que permite priorizar intervenciones, predecir el deterioro y garantizar la seguridad operacional de las pistas mediante un monitoreo estructural y funcional continuo (Di Mascio & Moretti, 2019).

Además de estos sistemas, existen otros softwares como PaveXpress, CIRCLY y MXROAD Suite, que ofrecen funcionalidades específicas, como el análisis estructural de capas de pavimento o la planificación de mantenimiento para redes viales. Sin embargo, su uso en el contexto aeroportuario es limitado y menos frecuente (Maqbali & Ragab, 2021).

En resumen, los SGPA son una herramienta clave para garantizar la operatividad, seguridad y sostenibilidad de la infraestructura aeroportuaria. En el caso de Chile, el uso de PAVER responde a su respaldo internacional, su validación normativa y su capacidad para generar decisiones operativas estructuradas. No obstante, su aplicación presenta limitaciones al momento de adaptarse a las condiciones locales del país. Por ejemplo, muchos informes de auscultación nacionales reportan únicamente el valor de PCI, sin detallar los deterioros individuales que originan dicho índice, lo que impide el uso de PAVER, que requiere esa información para calcular y proyectar curvas de deterioro. Además, existen discrepancias en la definición de secciones entre informes de distintos años, lo que dificulta la georreferenciación y la comparación temporal de los datos. Esto refuerza la importancia de utilizar el SGPA actualmente en desarrollo para el contexto de la red primaria de aeropuertos de Chile, con el fin de evaluar si una solución contextualizada puede superar las restricciones del modelo tradicional en utilidad práctica.

5 Metodología, plan de trabajo

Para los objetivos definidos previamente, se estructuró la siguiente metodología a través de una matriz que vincula los objetivos de la memoria con las actividades prácticas que se desarrollarán, los métodos específicos empleados y los indicadores que permitirán validar los resultados. Esta metodología se divide en 2 etapas: la primera corresponde al estudio y uso del software PAVER; la segunda, al análisis comparativo de las curvas de desempeño y planes de mantenimientos generados por ambos programas. La matriz correspondiente a cada objetivo se presenta a continuación:

5.1 Objetivo específico 1:

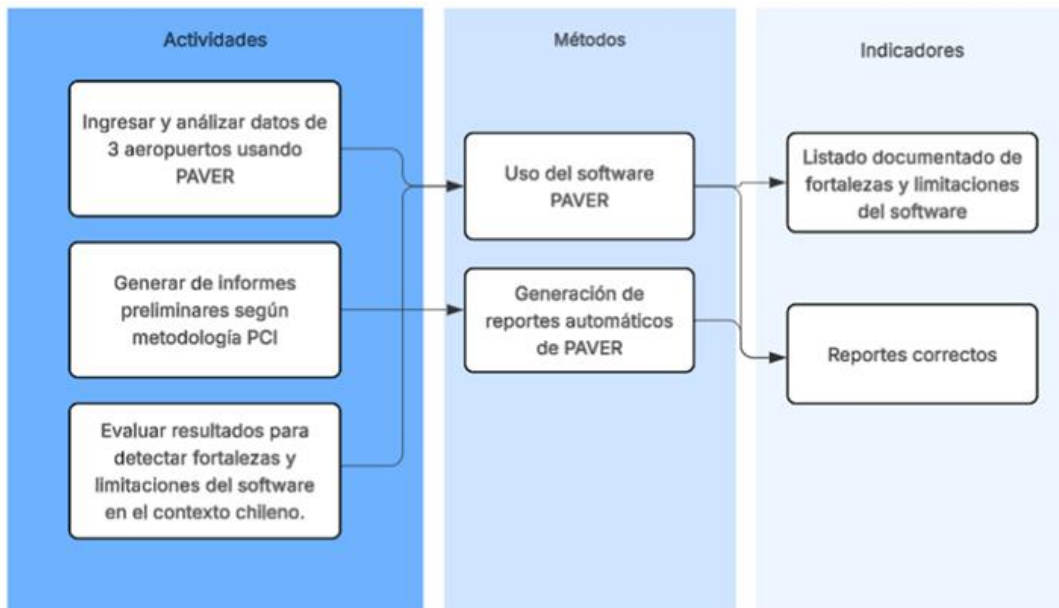


Figura 1 Esquema metodología objetivo específico 1

Como se puede observar en la Figura 1, para cumplir con este objetivo se adoptó una metodología del tipo cuantitativo, basada en el procesamiento de datos de PCI y deterioros de 3 aeropuertos de la red primaria de Chile.

Primero, se realizó una búsqueda y selección de informes técnicos de aeropuertos pertenecientes a la DAP. La selección de los tres aeropuertos se basó en aquellos que contaban con mayor cantidad y calidad de datos históricos sobre inspecciones de pavimentos, incluyendo información de PCI y deterioros observados, lo que permitió una evaluación más robusta del desempeño del software. Con esta información se procedió a crear redes, secciones y unidades de muestra en el software. Esta etapa permitió adaptar los datos disponibles con los requerimientos del sistema.

Luego se ingresaron los tipos de deterioros informados, su severidad y cantidad. Este proceso posibilitó que el programa pudiera generar reportes de PCI, proyección de condición, planes de mantenimiento y curvas de familia. Durante esta etapa, se registraron de forma paralela todas las dificultades y fortalezas observadas en el uso del software, como por ejemplo problemas con el reconocimiento de unidades, dificultad al ingreso de datos o facilidad de generación de reportes.

Durante la carga de datos, se registró el tiempo requerido para ingresar cada aeropuerto en el sistema, así como las dificultades encontradas, tales como incompatibilidad en los formatos de origen o ambigüedad en la clasificación de secciones.

5.2 Objetivo específico 2

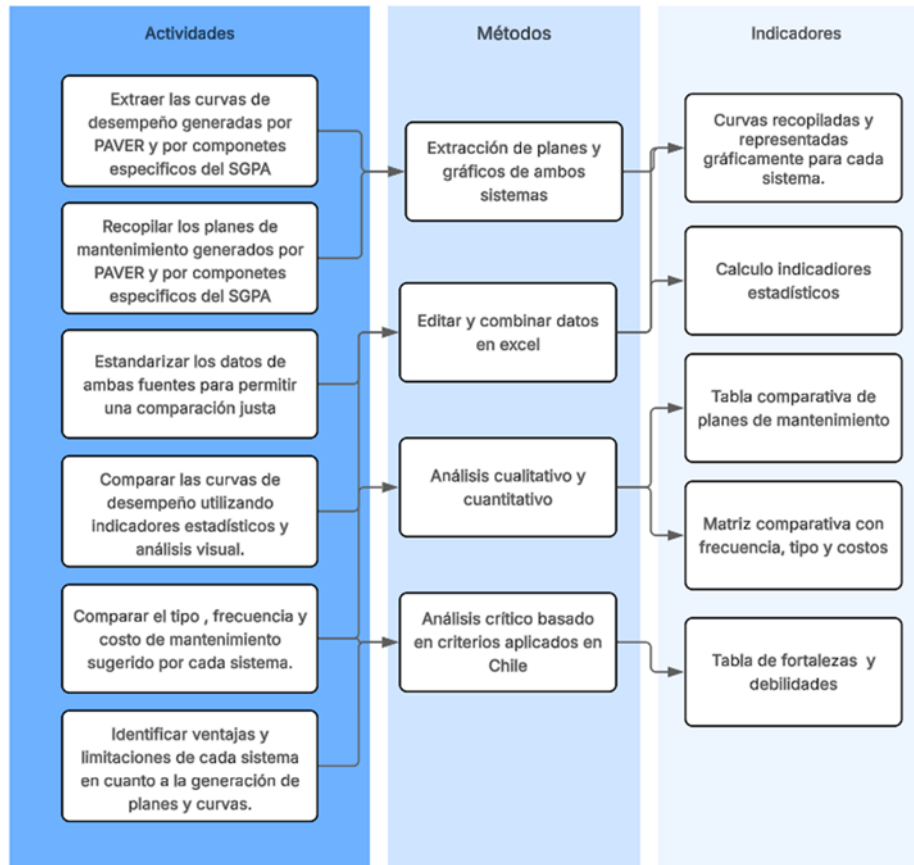


Figura 2 Esquema metodología objetivo específico 2

Como se puede apreciar en la Figura 2, para cumplir con el objetivo específico 2 se trabajaron con informes reales de auscultación del Aeródromo de La Florida y del Aeropuerto Andrés Sabella. En primera etapa se procedió a la extracción de curvas de desempeño generada por ambos sistemas y también la formulación de planes de mantenimientos y sus parámetros para cada aeropuerto.

Posteriormente, se estandarizaron los datos para poder compararlos de manera justa. Esto implicó editar, combinar y normalizar los datos mediante la herramienta Excel, considerando para el caso de las curvas mismos años de estudio y secciones. Luego se compararon las curvas de desempeño mediante el cálculo de los indicadores estadísticos y un análisis visual al juntar las curvas generadas por ambos sistemas en un mismo gráfico, con el objetivo de evaluar similitudes o diferencias en la evaluación del desempeño de condición del pavimento en el tiempo.

En una etapa posterior, se analizaron los parámetros de optimización de los planes de mantenimiento de cada sistema evaluando los tipos de trabajos, el incremento de PCI señalado por cada tipo de trabajo y sus costos. Luego se generaron los planes de mantenimiento para ciertas secciones de cada aeropuerto para poder comparar los tipos de trabajos sugeridos. Para comparar ambos sistemas se aplicó un análisis cualitativo y cuantitativo, cuyos resultados fueron sintetizados en una matriz. Finalmente, se llevó a cabo un análisis crítico de los resultados basado en criterios técnicos aplicables al contexto chileno, como producto de esta etapa se generó una tabla resumen de fortalezas y debilidades de ambos sistemas.

6 Análisis del sistema de gestión de pavimentos PAVER

Paver es un software que tiene incluido un sistema de gestión de pavimentos, tanto para carreteras como para aeroportuarios. Este fue creado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos y está basado en el índice de condición de pavimentos (PCI). Es una herramienta muy utilizada a nivel internacional, y es el utilizado por las consultoras en Chile para el análisis de los pavimentos

aeroportuarios, aunque su principal uso es mantener un inventario y conocimiento del estado de los pavimentos, más que para proponer trabajos de mantenimiento y/o rehabilitación.

Para este estudio se seleccionaron 3 aeropuertos de la red primaria nacional, para analizarlos con la herramienta Paver, en base a la disponibilidad de información disponible de informes de auscultación.

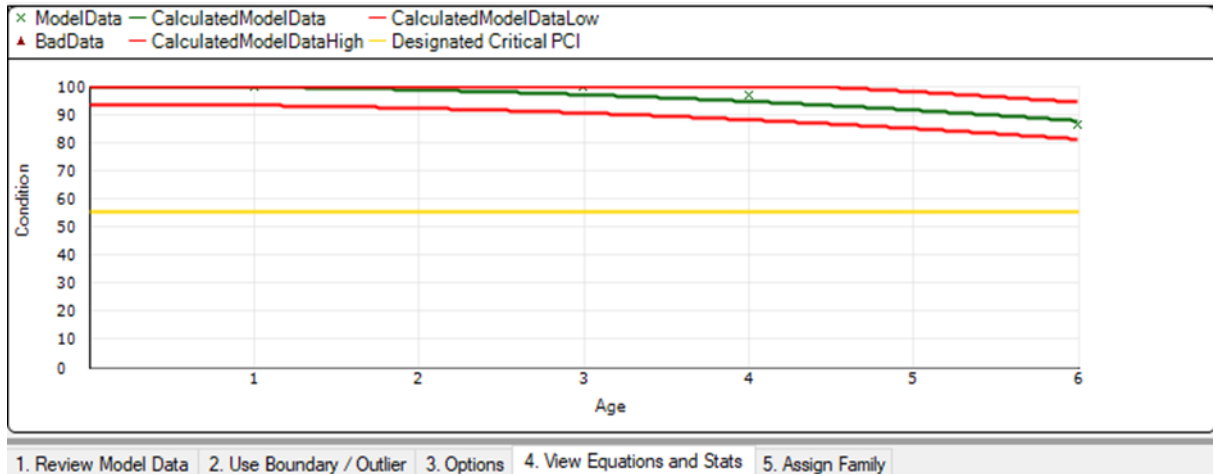
6.1 Ingreso de datos

El ingreso de datos en el software PAVER se realizó de manera estructurada, siguiendo la jerarquía definida por la norma ASTM D5340, que organiza el área de movimiento en ramas, secciones y unidades muestrales. Cada unidad fue cargada manualmente, registrando los deterioros observados durante la auscultación según su tipo, severidad y extensión, expresada en metros cuadrados o número de losas. Si bien el programa permite importar datos desde archivos externos, esta función no pudo utilizarse debido a incompatibilidades en el formato de los informes nacionales, por lo que se optó por el ingreso manual. Este proceso demandó un tiempo considerable por informe, especialmente en los pavimentos de hormigón, y se vio limitado por el hecho de que PAVER solo admite el ingreso de deterioros individuales, sin permitir la carga directa de valores de PCI ya calculados. Además, la interfaz del software se encuentra disponible únicamente en inglés, lo que puede representar una dificultad adicional para usuarios sin dominio del idioma. El detalle completo del procedimiento y las interfaces utilizadas se presenta en el Anexo ingreso de datos PAVER.

6.2 Reportes

El programa ofrece una amplia variedad de reportes que permiten analizar y gestionar la información contenida en la base de datos del sistema. Entre ellos se encuentran los “GIS Reports”, que presentan la red de pavimentos en formato geográfico. Los “Summary Charts” generan gráficos comparativos entre distintos atributos, como el promedio del PCI según tipo de superficie o edad del pavimento, mientras que los “Standard Reports” incluyen listados detallados de ramas y secciones, el historial de trabajos realizados, el estado promedio por rama o sección. Asimismo, el programa ofrece la posibilidad de crear “User-Defined Reports”, donde el usuario puede seleccionar columnas, filtros y orden de presentación, permitiendo además la exportación de los resultados a hojas de cálculo para análisis complementarios. Finalmente, el “Work Plan Report” entrega las actividades de mantenimiento y rehabilitación proyectadas según las políticas M&R definidas y los presupuestos disponibles. Para los alcances de la presente memoria, se utilizaron únicamente los reportes asociados al PCI y a las curvas de desempeño generadas por el programa, los cuales permitieron realizar la comparación con el sistema SGPA.

A partir de los valores de PCI obtenidos, es posible generar la denominada curva de familia. Estas se agrupan secciones de pavimento que comparten características similares como materialidad, tráfico, clima y funcionalidad. Cabe mencionar, cuando una sección tiene pocos datos, PAVER utiliza las curvas de familia que se basan en información histórica de otros aeropuertos con condiciones similares. De esta forma, el programa puede estimar la tendencia de deterioro, aunque no existan suficientes datos propios. Estas curvas son necesarias para poder predecir de forma más precisa la evolución de la condición a lo largo del tiempo. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de curva de familia generada por PAVER, junto con su ecuación de ajuste y los parámetros estadísticos asociados al modelo.



$$100 + 1.21146183573728E-06 X^1 - 0.343603998422623 X^2 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.966

Approximate R^2 0.932

Figura 3 Curva de familia y ecuación generadas por PAVER para la parte central de la pista de Aeródromo de la Florida

Una vez definidas las respectivas familias, el software permite generar a cada sección una curva de desempeño de la condición del pavimento, en el horizonte de años que el usuario determine. Las predicciones utilizan la ecuación obtenida del modelo estadístico ajustado a la curva de familia con algunos ajustes, permitiendo así visualizar como disminuirá el PCI con el tiempo si no se le realizan intervenciones. En total, se generaron 14 curvas de familia correspondientes a las secciones analizadas, las cuales se presentan íntegramente en el Anexo Curvas de familia, junto con sus respectivas ecuaciones y parámetros de ajuste. A modo de ejemplo y con fines de análisis posterior, en la Figura 4 se muestra la curva generada por PAVER para la parte central de la pista del Aeródromo de La Florida, considerando un horizonte de 20 años sin intervenciones de mantenimiento. Asimismo, las Figura 5 a 9 presentan las curvas obtenidas para las demás secciones analizadas, tanto del Aeródromo de La Florida como del Aeropuerto Andrés Sabella, las cuales serán utilizadas en el Capítulo 7 para comparar el comportamiento de deterioro proyectado por PAVER y por el SGPA elaborado para las condiciones de Chile.

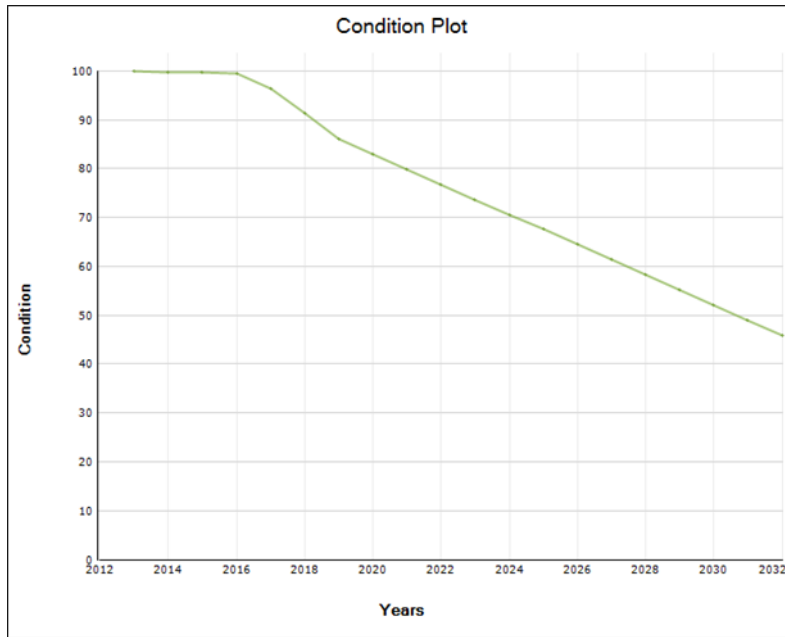


Figura 4 Curva de desempeño generada por Paver para la sección central de la pista del Aeródromo La Florida.

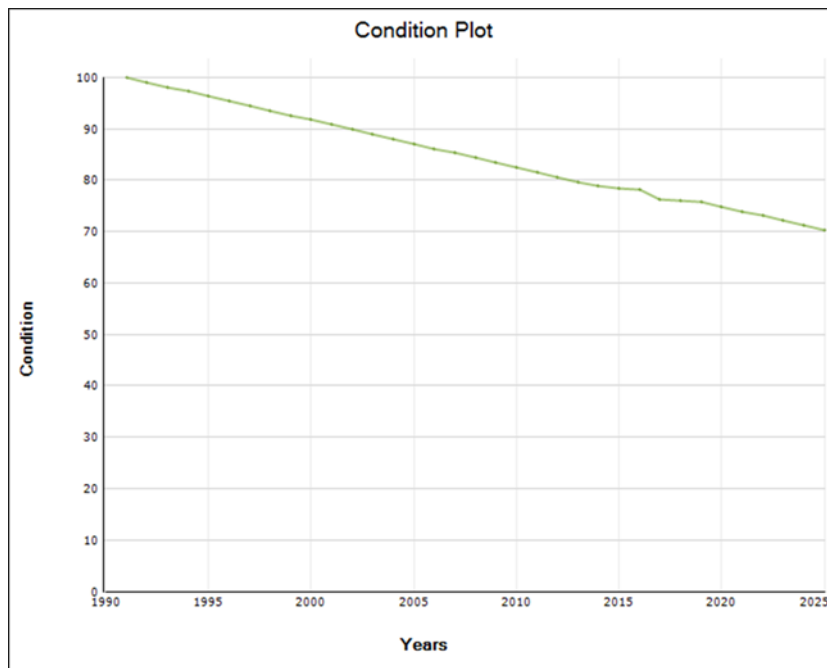


Figura 5 Curva de desempeño generada por Paver para la sección borde de la pista del Aeródromo La Florida.

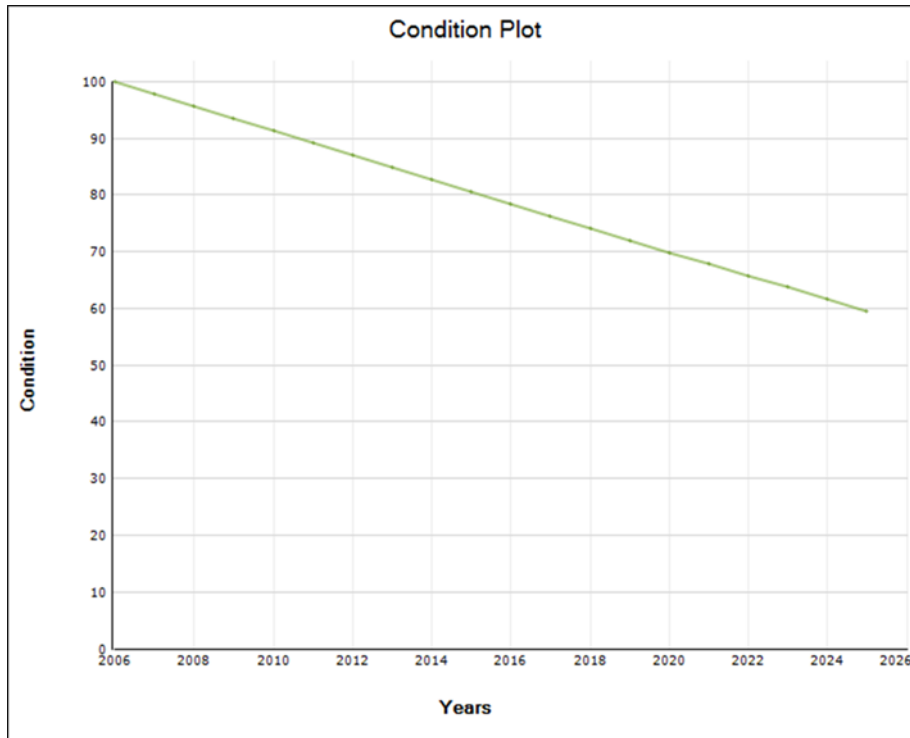


Figura 6 Curva de desempeño generada por Paver para la sección central de la pista (PI-1) del **Aeropuerto Andrés Sabella.**

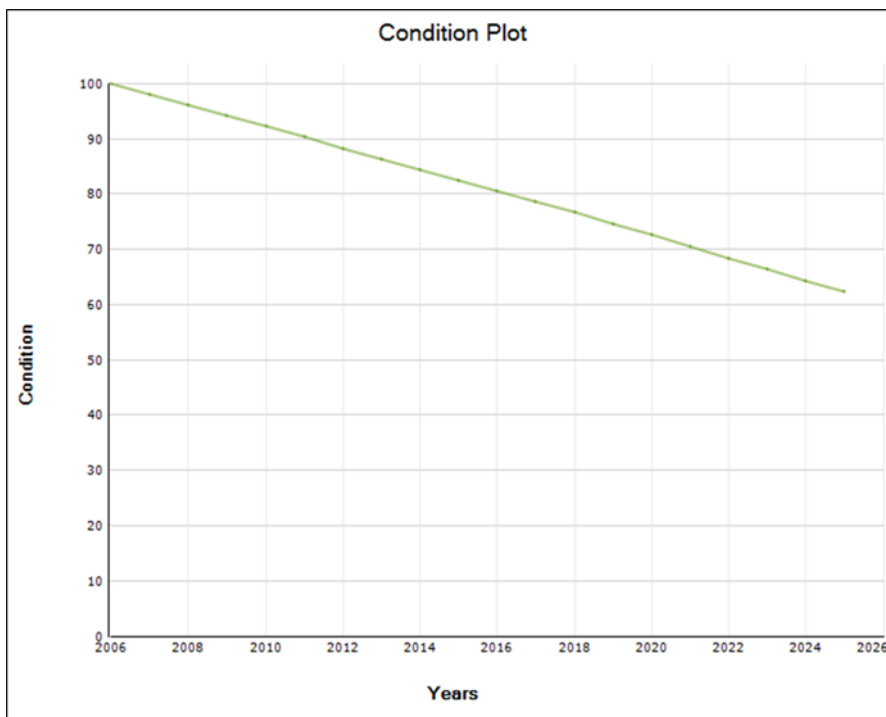


Figura 7 Curva de desempeño generada por Paver para la sección central de la pista (PI-3) del **Aeropuerto Andrés Sabella.**

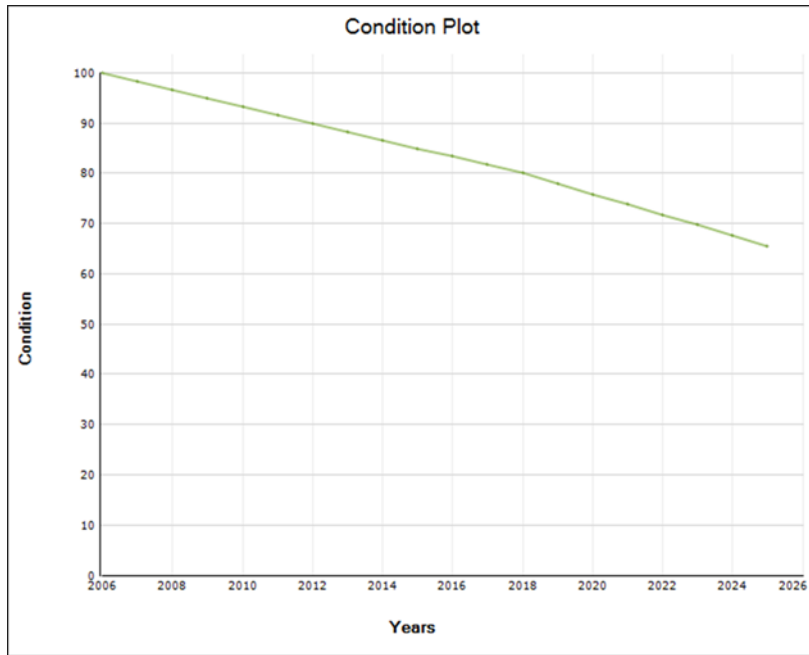


Figura 8 Curva de desempeño generada por Paver para la sección borde de la pista (PI-2) del **Aeropuerto Andrés Sabella.**

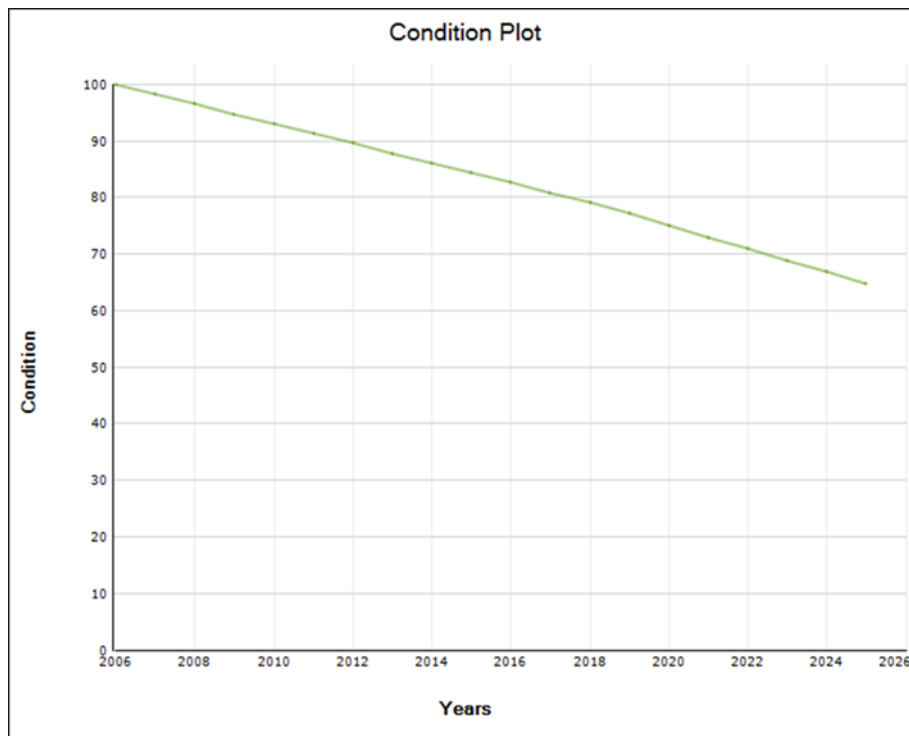


Figura 9 Curva de desempeño generada por Paver para la sección borde de la pista (PI-4) del **Aeropuerto Andrés Sabella.**

6.3 Generación de planes

PAVER permite generar planes de mantenimiento y rehabilitación (M&R) que ayudan en la toma de decisiones de gestión de pavimentos a través de dos herramientas principales: el “Project Formulation Wizard” y el módulo de “M&R Work Planning”.

La herramienta “Project Formulation Wizard” está diseñado para facilitar la planificación de trabajos de mantenimiento y rehabilitación. En una primera etapa, la herramienta permite al usuario asignar un nombre al proyecto y, si es necesario, definir un trabajo que deba aplicarse obligatoriamente a todas las secciones incluidas. Posteriormente, se establece la política de M&R, que corresponde a la definición del tipo de trabajo que se ejecutará para cada tipo de deterioro identificado. En la Tabla 1 se muestra un extracto del Anexo Política de M&R del tipo preventiva, donde se asocian los tipos de deterioro (distress) con su nivel de severidad y el tipo de trabajo de mantenimiento correspondiente. En este ejemplo, se observa que las grietas tipo “Alligator Cracking” presentan distintas acciones recomendadas según su severidad, como sellado superficial o parcheo profundo.

Tabla 1 Extracto tabla política de M&R del tipo preventiva

Distress	Severity	Description	Work Type
41	Medium	<i>ALLIGATOR CR</i>	Patching - AC Deep
41	Low	<i>ALLIGATOR CR</i>	Surface Seal
41	High	<i>ALLIGATOR CR</i>	Patching - AC Deep

Esta política puede seleccionarse entre las opciones predefinidas que ofrece el software o bien configurarse de forma personalizada por el usuario. Además de la política de tipo preventiva, el programa también incluye una política denominada "Safety" (Véase Anexo Política de M&R del tipo “safety”), orientada a priorizar las intervenciones necesarias para mantener la seguridad operativa del pavimento, atendiendo deterioros que puedan comprometer la integridad estructural o la operación aeronáutica. Cabe destacar que estas políticas fueron desarrolladas originalmente bajo condiciones operacionales y climáticas de Estados Unidos, ya que el software PAVER fue diseñado por el cuerpo de ingenieros del ejército de este país para la gestión de pavimentos en bases aéreas y aeropuertos norteamericanos. Por ello, su aplicación en aeropuertos chilenos requiere ajustes que consideren las particularidades locales de clima, materiales y frecuencia de mantenimiento (Shahin, 2008).

A continuación, en la Tabla 2, se definen los costos asociados a cada tipo de trabajo, valores que también pueden ser editados según las necesidades del análisis.

Tabla 2 Costos predeterminados de trabajos realizados en aeropuertos

Name	Cost USD
<i>Crack Sealing – AC</i>	\$8.20
<i>Joint Seal – Silicon</i>	\$11.48
<i>Crack Sealing – PCC</i>	\$8.20
<i>Grinding (Localized)</i>	\$15.75
<i>Joint Seal (Localized)</i>	\$8.20
<i>Patching - AC Deep</i>	\$75.35
<i>Patching - AC Leveling</i>	\$13.45
<i>Patching - AC Shallow</i>	\$34.98
<i>Patching - PCC Full Depth</i>	\$269.10
<i>Patching - PCC Partial Depth</i>	\$69.97
<i>Shoulder leveling</i>	\$4.92
<i>Slab Replacement - PCC</i>	\$193.75

Seguidamente, el usuario puede seleccionar qué secciones incluir o excluir del plan, aplicando filtros según el uso de la rama, el tipo de superficie, la priorización de la sección u otras condiciones personalizadas. Finalmente, la herramienta genera como resultado una asignación detallada que indica el tipo de trabajo a ejecutar, las secciones donde se aplicará y el costo estimado total del plan

Por otra parte, el módulo “M&R Work Planning” permite desarrollar un plan integral que incorpora el inventario de pavimentos, los datos de inspección, las políticas de mantenimiento, los costos asociados y las proyecciones del estado futuro del pavimento. En el caso de esta memoria, se utilizó la política “Minimum Condition”, la cual permite establecer un valor mínimo de PCI para cada sección. Si el PCI cae por debajo del umbral definido, el sistema programa automáticamente una intervención, estimando el año en que esta deberá ejecutarse, el tipo general de trabajo requerido, el costo asociado y el impacto esperado en la condición del pavimento. En la Tabla 3 se presentan un extracto del Anexo resultados del módulo “M&R Work Planning” entregados por esta herramienta, que resumen las acciones de mantenimiento y los costos asociados para las secciones analizadas.

Tabla 3 Extracto tabla resultados del módulo M&R Work Planning

Network/ Branch/ Section	2025	2026	2027
Air Side::Pista::PI-1	Do Nothing Before:94.45 After:94.45	Do Nothing Before:93.59 After:93.59	Do Nothing Before:92.73 After:92.73
Air Side::Pista::PI-2	Major Above Critical \$723827.34 Before:79.17 After:100	Do Nothing Before:97.88 After:97.88	Do Nothing Before:95.9 After:95.9
Air Side::Platf::PL-1/A	Major Above Critical \$149251.95 Before:72.65 After:100	Do Nothing Before:98.89 After:98.89	Do Nothing Before:97.79 After:97.79
Air Side::Platf::PL-2/B	Major Above Critical \$70627.1 Before:63.24 After:100	Do Nothing Before:98.89 After:98.89	Do Nothing Before:97.79 After:97.79

Es importante señalar que, bajo esta política, los costos se calculan en función del valor del PCI, ya que el sistema utiliza una relación predefinida entre el PCI y el costo unitario de mantenimiento o rehabilitación (M&R). Según Shahin (2008), el costo de intervención de cada sección se estima proyectando el año en que el pavimento alcanzará la condición mínima establecida (Minimum Condition) y multiplicando su área por el costo unitario correspondiente al valor de PCI. Esta relación, conocida como curva PCI–costo unitario, refleja que las secciones con valores de PCI altos requieren intervenciones menores, como sellado, mientras que las secciones con PCI bajos implican tratamientos de mayor costo, como reconstrucción. De este modo, el sistema puede estimar el costo total futuro sin necesidad de especificar un tipo de trabajo exacto.

6.4 Ingreso de trabajos

El software PAVER™ permite ingresar distintos tipos de trabajos de mantenimiento y rehabilitación (M&R) sobre las secciones de pavimento. Estos se clasifican en varias categorías, tales como:

- Localized M&R: reparaciones menores y localizadas, como sellado de grietas o bacheo.
- Major M&R: intervenciones más extensas, como recapado o reconstrucción.
- Layer Construction: incorporación de nuevas capas, como capas estructurales adicionales.
- Global M&R: trabajos como tratamiento superficial.

Cada trabajo ingresado se asocia con un año específico, un tipo de intervención y un costo estimado. El sistema permite almacenar estos datos como parte del historial de mantenimiento de cada sección. En la Figura 10 se muestra la ventana del software PAVER correspondiente a la herramienta de ingreso de trabajos, donde se definen las variables de intervención, material y costo asociado.

Figura 10 Ventana mostrada por Paver para el ingreso de trabajos

Es importante destacar que, aunque se pueden registrar múltiples tipos de trabajos, el software solo reconoce un cambio en la curva de desempeño cuando se ingresan trabajos del tipo “Major M&R” o “Global Change”. Esto implica que, si se aplican trabajos del tipo “Localized M&R” o “Layer Construction”, la curva de deterioro proyectada no se ajustará automáticamente, aun cuando estos trabajos pueden influir en la condición real del pavimento. Esta limitación debe ser considerada al momento de analizar los resultados, ya que puede afectar la interpretación de la evolución del PCI si no se registran adecuadamente las intervenciones mayores.

7 Comparación y análisis curvas de desempeño

En este apartado se realizó una comparación entre las curvas de desempeño generadas en el presente estudio mediante el software PAVER y las curvas obtenidas por Córdova (2025) a partir de la aplicación del modelo de cadenas de Márkov dentro del Sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios (SGPA) desarrollado para las condiciones chilenas. Las curvas desarrolladas por Córdova representan la evolución probabilística de la condición del pavimento considerando las probabilidades de transición entre distintos niveles de deterioro en el tiempo.

La comparación se realizó exclusivamente para la pista del Aeródromo de La Florida y del Aeropuerto Andrés Sabella, ya que fueron las únicas secciones para las cuales se disponía de curvas de desempeño generada por ambos métodos. Además, que representan la superficie más crítica dentro de la infraestructura aeroportuaria y también son de las que se tienen más datos históricos por unidad de muestra. El objetivo del análisis fue evaluar las similitudes y diferencias en la forma, tendencia, ajuste y proyección de las curvas generadas por ambas metodologías. En la Figura 11 se presenta la distribución de secciones definida para el Aeródromo La Florida, mientras que en la Figura 12 se muestra la correspondiente al Aeropuerto Andrés Sabella.

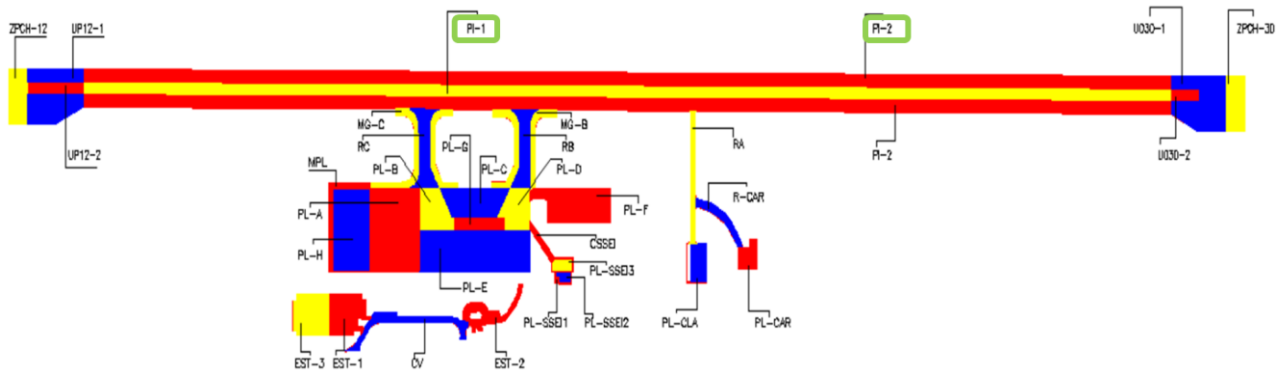


Figura 11 Secciones definidas para Aeródromo La Florida (adaptado de FAIC (2019))

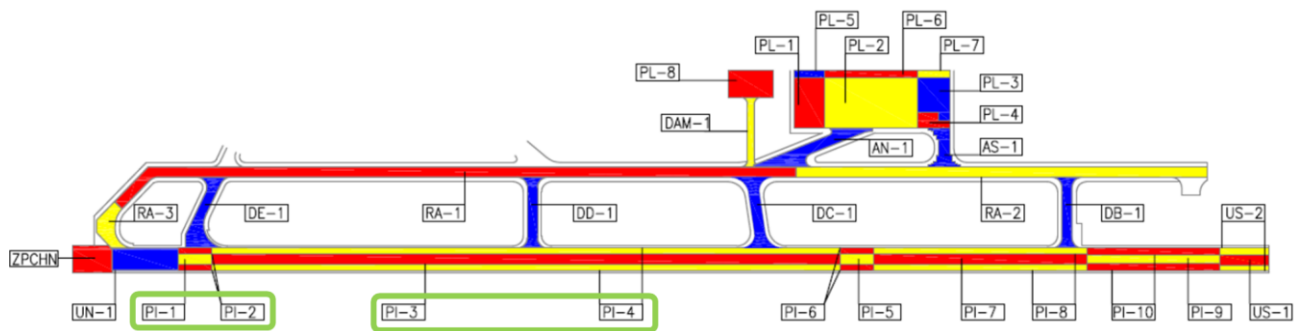


Figura 12 Secciones definidas para Aeropuerto Andrés Sabella (adaptado de DAP (2017))

7.1 Curvas Aeródromo La Florida

Las curvas de desempeño para el Aeródromo La Florida se calcularon utilizando los datos de los informes de los años 2014, 2016, 2017 y 2019. Para el caso del software PAVER y del SGPA desarrollado para el contexto chileno se emplearon los mismos años, incorporando además el año 2015, que fue considerado únicamente en el SGPA debido a que en ese período no se registraron intervenciones en las pistas. En el caso de PAVER, dicho año fue excluido porque los valores de PCI reportados no reflejaban deterioro. Cabe señalar que, para la comparación entre ambos sistemas, los datos fueron estandarizados tomando como año cero el correspondiente al inicio de operación de cada pista, y se proyectaron curvas con un horizonte de 20 años para la pista 1 y 35 años para la pista 2.

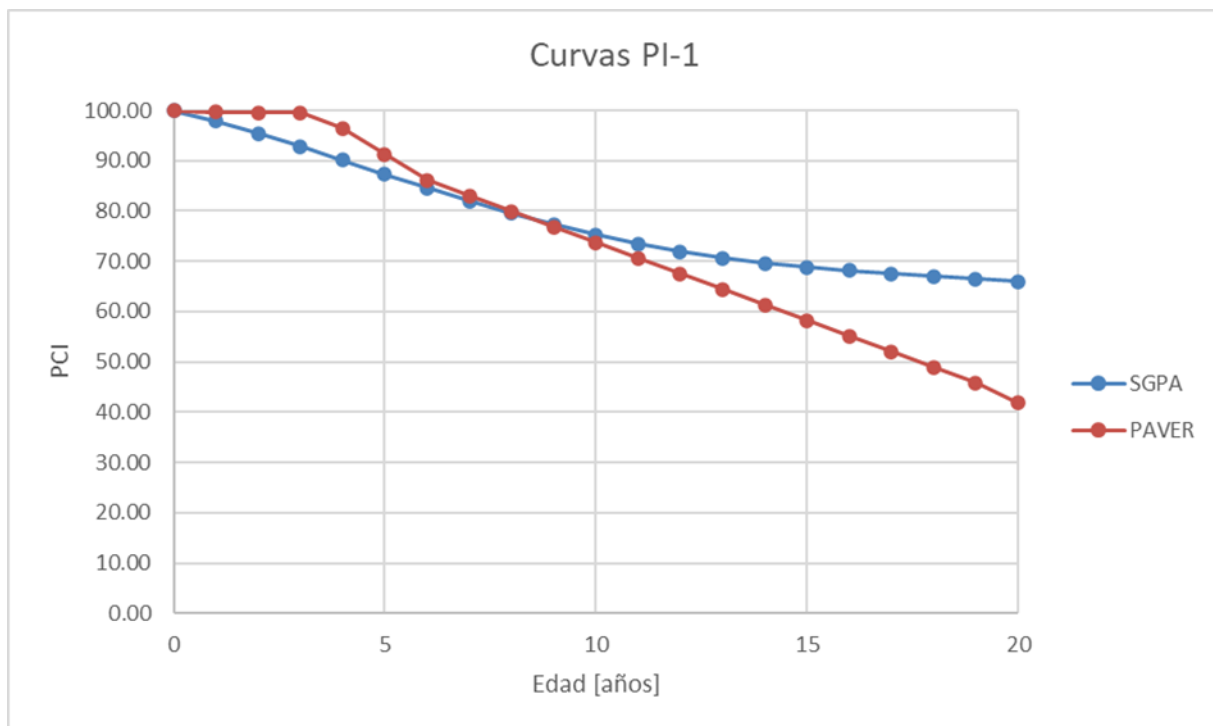


Figura 13 Curvas generadas por SGPA y PAVER para la pista central

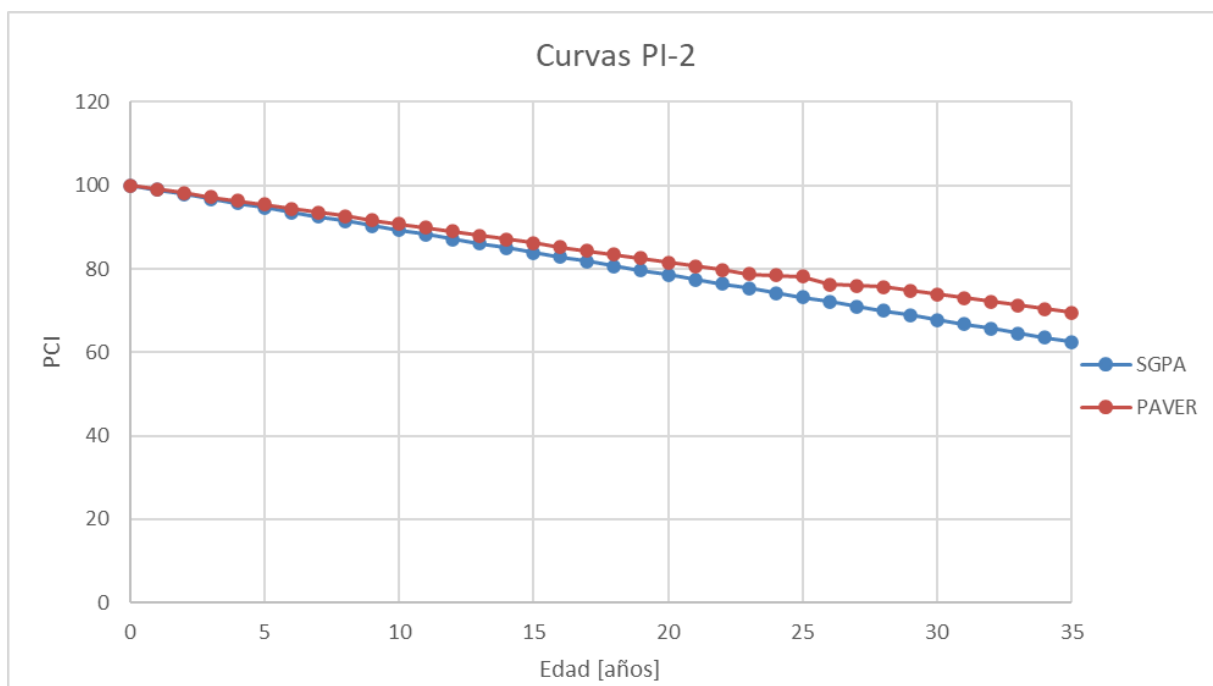


Figura 14 Curva generadas por SGPA y PAVER para borde de pista

En el caso de la pista 1, se observa en la Figura 13, que la curva generada por PAVER presenta un deterioro progresivo y continuo del PCI luego del año 5, comportamiento coherente con lo reportado en la literatura para la degradación de pavimentos, donde la pérdida de condición se produce de forma gradual hasta alcanzar niveles bajos. En contraste, la curva generada por el SGPA muestra una tendencia distinta: si bien reproduce inicialmente la disminución del PCI, a partir de cierto punto la pendiente se estabiliza. Este comportamiento refleja una disminución en la tasa de deterioro asociada al modelo probabilístico de cadenas de Márkov utilizado por el SGPA. Dicha tendencia se debe a que, al no contar

con suficientes datos adicionales para proyectar, el modelo tiende a repetir o suavizar los últimos valores registrados, reduciendo la pendiente sin reflejar necesariamente un nuevo deterioro real.

En el caso de la pista 2, como se observa en la Figura 14, ambas curvas muestran tendencias de deterioro muy similares, con descensos graduales y consistentes a lo largo del tiempo. Sin embargo, se aprecia que PAVER mantiene una pendiente algo más constante, mientras que el SGPA presenta un descenso ligeramente más acusado en la etapa final de la proyección. Esta mayor concordancia visual entre modelos en la pista 2 sugiere que, cuando se cuenta con datos suficientes y un comportamiento más lineal, las diferencias entre las proyecciones del SGPA y PAVER tienden a reducirse.

Para evaluar y comparar ambas curvas se utilizaron las siguientes métricas estadísticas para poder evaluar su capacidad de precisión y cuan parecidas son entre ellas las curvas. Las utilizadas fueron la raíz del error cuadrático medio (RMSE), criterio de información de Akaike (AIC) e índice de similitud de curvas (SCI). En la Tabla 4 se presentan los valores obtenidos para cada métrica, correspondientes a la pista 1 y 2 del Aeródromo La Florida, donde se comparan los resultados de PAVER y del SGPA.

Tabla 4 Valores obtenidos de RMSE y AIC por PAVER y SGPA

	RMSE		AIC	
	PI-1	PI-2	PI-1	PI-2
PAVER	0.63	0.32	-0.58	-2.93
SGPA	6.28	3.6	211.7	276.37

Para el caso de la pista 1, el RMSE obtenido por PAVER fue de 0,63 puntos de PCI, lo que indica que, en promedio, la diferencia entre los valores estimados y los observados es muy baja. En cambio, el SGPA presentó una diferencia promedio de 6,28 puntos, notablemente mayor a la de PAVER. Sin embargo, esta diferencia puede explicarse porque PAVER ajusta sus curvas empíricas de deterioro de modo que los valores estimados coincidan con los observados, reduciendo así el error. Por el contrario, el SGPA, al basarse en un modelo probabilístico de cadenas de Markov, genera una mayor dispersión respecto a los datos reales. En cuanto al AIC, PAVER obtuvo un valor de -0,58, mientras que el SGPA alcanzó 211,7. Dado que un AIC más bajo indica un mejor equilibrio entre ajuste y complejidad, este resultado sugiere que el modelo de PAVER es más eficiente y menos complejo para describir el comportamiento de la pista 1. No obstante, debe considerarse que el cálculo del AIC para PAVER se realizó con un número reducido de datos históricos, lo que influye en el resultado obtenido. Es importante señalar que, aunque ambos indicadores se calcularon utilizando los mismos años de observación (2014, 2016, 2017 y 2019), los métodos de estimación difieren entre ambos modelos. En el caso de PAVER, los valores se calcularon directamente a partir de la diferencia entre los datos observados y los estimados por su modelo empírico de deterioro. En cambio, los indicadores reportados por Nicolas Córdova (2025) se obtuvieron a partir de un modelo de cadenas de Markov validado mediante un proceso de validación cruzada. Por ello, aunque los resultados se expresan en las mismas métricas (RMSE y AIC), las diferencias reflejan principalmente las distintas metodologías de modelación más que un desempeño relativo entre los sistemas.

Finalmente, debido a que los modelos de PAVER y del SGPA se generan mediante enfoques metodológicos distintos, se aplicó el “Curve Similarity Index” (SCI) para cuantificar el grado de similitud entre las curvas obtenidas. Este índice, propuesto por Faya et al. (2020), mide la semejanza entre dos curvas en un rango entre 0 y 1, donde 1 representa curvas idénticas. En este análisis, el cálculo se realizó a partir de los valores de PCI obtenidos para cada año, aplicando la siguiente fórmula simplificada:

$$SCI = 1 - \frac{\sum |PCI_{Paver} - PCI_{SGPA}|}{\sum (\sum |PCI_{Paver} + PCI_{SGPA}|)} \quad (1)$$

Donde el numerador corresponde a la suma de las diferencias absolutas entre los valores de PCI de ambas curvas en los mismos años, y el denominador a la suma total de los valores comparados. El resultado obtenido fue de 0,95, lo que indica que, a pesar de emplear métodos de predicción diferentes, las curvas generadas presentan un 95 % de similitud, evidenciando comportamientos muy parecidos en la evolución proyectada del PCI.

Para el caso de la pista 2, el RMSE obtenido por PAVER fue de 0,32 puntos de PCI, lo que refleja una diferencia promedio muy baja entre los valores estimados y los observados. Por su parte, el SGPA presentó un RMSE de 3,60 puntos, evidenciando una mayor dispersión respecto a los valores reales. Tal como ocurre en el caso de la pista 1, esta diferencia puede atribuirse a la forma en que cada modelo ajusta sus resultados: PAVER utiliza un modelo empírico de deterioro que fuerza la coincidencia entre los valores observados y los estimados, reduciendo el error. En cuanto al AIC, PAVER obtuvo un valor de $-2,93$, frente a $276,37$ del SGPA. Un AIC más bajo representa un mejor equilibrio entre la complejidad del modelo y su capacidad de ajuste, por lo que este resultado sugiere que el modelo de PAVER es más eficiente y menos complejo para describir el comportamiento de la pista 2. No obstante, al igual que en el caso anterior, debe considerarse que el número limitado de datos históricos disponibles influye en el valor reducido del AIC de PAVER, ya que su tendencia a igualar los valores observados y estimados puede incrementar artificialmente la calidad aparente del ajuste.

Finalmente, al aplicar el SCI se obtuvo un valor de 98% de similitud, lo que demuestra que a pesar de sus formas metodológicas de generación de modelos ambos obtienen proyecciones semejantes.

7.1.1 Curvas Aeródromo La Florida con modelo tráfico y PCI

En la Figura 15 se muestra la comparación entre la curva de dese generada por PAVER y el modelo Tráfico/PCI del SGPA para la sección PI-1. Se utilizo el modelo que relaciona el tráfico aéreo con el PCI, esta curva es generada con una ecuación de ajuste empírico.

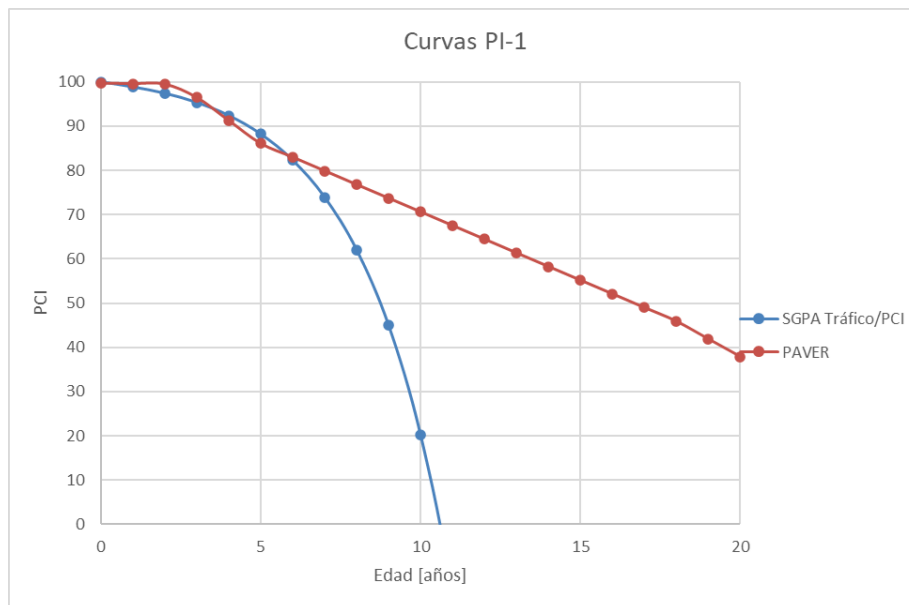


Figura 15 Curva generadas por SGPA que relaciona tráfico con PCI y PAVER para centro de pista (adaptadas de Rosas (2025))

En el gráfico se puede ver cómo ambas curvas parten con valores de PCI cercanos a 100, pero la de PAVER presenta un deterioro más suave, coherente con lo que dice la literatura sobre cómo debe ser la pérdida de condición del pavimento, mientras que el modelo tráfico/PCI, muestra una caída más pronunciada, especialmente después de los primeros años de uso.

En la TABLA se muestran los valores obtenidos para la métrica RMSE donde se compara su precisión para predecir el PCI.

Tabla 5 Valores métrica estadística para PI-1

	RMSE
	PI-1
PAVER	0.63
SGPA Tráfico/PCI	1.17

En términos de precisión, el RMSE obtenido para PAVER fue de 0,63, mientras que el modelo Tráfico/PCI del SGPA alcanzó 1,17, lo que evidencia un mejor ajuste de PAVER entre los valores observados y estimados. Esto indica que las proyecciones de PAVER presentan menor dispersión del error y, por tanto, mayor precisión. La diferencia se debe a que PAVER al generar los modelos fuerza a que los valores observados y estimados sean iguales, reduciendo este error. En cambio, el SGPA genera su modelo a partir de una ecuación empírica que relaciona el PCI con el tráfico, lo que puede producir una mayor variabilidad en los resultados y un ajuste menos exacto frente a los datos observados.

Para el caso del SCI, se obtuvo un valor del 3%, lo que podría deberse a la bajada abrupta que presenta el modelo generado por el SGPA. Sin embargo, en un análisis posterior se observó que las curvas presentan una similitud cercana al 99% para valores sobre los 80 de PCI, lo que indica que ambos modelos tienden a coincidir en el rango de pavimentos en buen estado.

7.2 Curvas Aeropuerto Andrés Sabella

Las curvas de desempeño para el Aeropuerto Andrés Sabella se generaron utilizando los datos del informe de auscultación del año 2018 en el caso de PAVER, y los años 2017 y 2018 en el caso del SGPA desarrollado para Chile, debido a que el informe de 2017 sólo incluía valores de PCI. Este aeropuerto cuenta con dos pistas principales, identificadas como PI-1 y PI-3 y con pistas de borde, correspondientes a PI-2 y PI-4, tal como se muestra en la Figura 12. Para la estandarización de los datos se consideró como año inicial el número 5 para las pistas PI-1 y PI-3, y el número 6 para las pistas PI-2 y PI-4, de modo que fuera posible realizar la comparación con los valores proyectados por el SGPA. En la Figura 16 se presentan las curvas promedio generadas por ambos métodos para las pistas centrales (PI-1 y PI-3), mientras que en la Figura 17 se muestran las curvas correspondientes a los bordes de pista (PI-2 y PI-4).

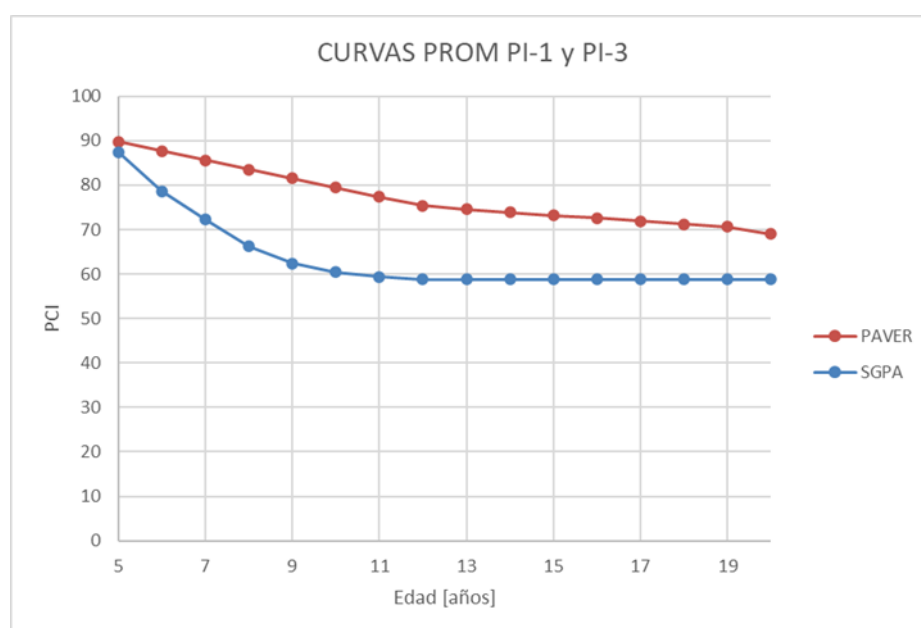


Figura 16 Curvas generadas por SGPA y PAVER para secciones centrales pista

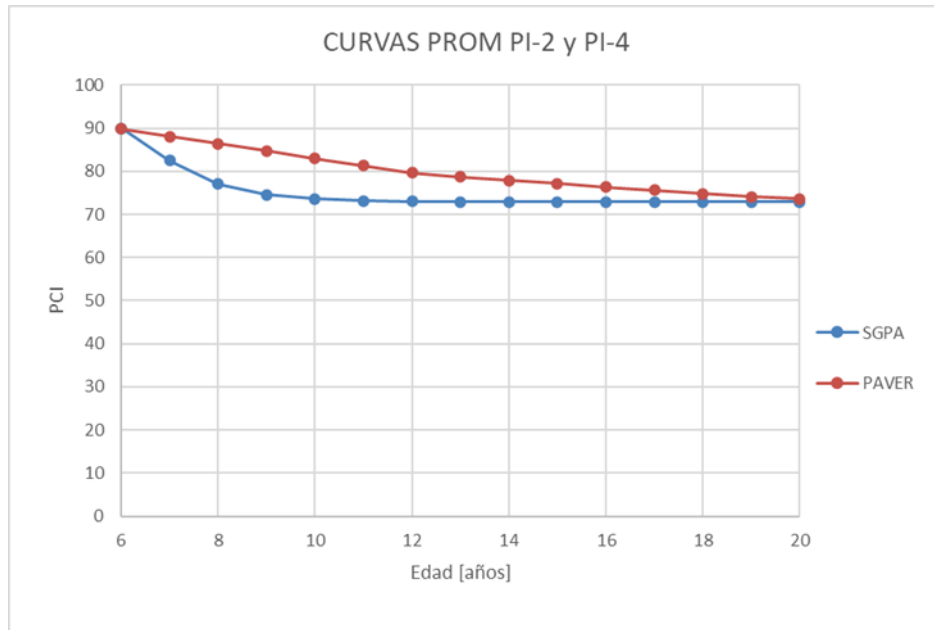


Figura 17 Curvas generadas por SGPA y PAVER para bordes de la pista.

En ambos casos se observa que las curvas generadas por PAVER para el aeropuerto Andrés Sabella presenta una tendencia al deterioro más gradual, manteniendo valores de PCI superiores al SGPA. Esto se debe, en parte, porque las curvas de PAVER fueron construidas a partir de un único año de auscultación (2018), en estos casos el software asume un valor inicial de PCI igual a 100 al momento de la construcción del pavimento y utiliza el valor medido en la inspección disponible para ajustar la ecuación de deterioro. De esta manera, el modelo genera una curva empírica que pasa por los puntos conocidos. Mientras que el SGPA utilizó información correspondiente a los años 2017 y 2018, lo que le permitió una base de datos ligeramente más completa para estimar la evolución del PCI. En la Tabla 6 se presentan los valores obtenidos para cada métrica, correspondientes a la pista 1, 2, 3 y 4 del Aeropuerto Andrés Sabella, donde se comparan los resultados de PAVER y del SGPA.

Tabla 6 Valores obtenidos de RMSE y AIC por PAVER y SGPA

	RMSE				AIC			
	PI-1	PI-3	PI-2	PI-4	PI-1	PI-3	PI-2	PI-4
PAVER	2.89	2.7	0.47	2.62	8.20	8.00	0.50	7.86
SGPA	6.57		3.98		62.82		50.31	

En el caso de las secciones PI-1 y PI-3, que se evaluaron individualmente debido a que PAVER no permite agrupar secciones, los valores de RMSE para PAVER fueron de 2,89 y 2,70 respectivamente, reflejando una discrepancia moderada entre los valores estimados y observados. En contraste, el SGPA alcanzó valores notablemente mayores, con 6,57 para PI-1 y PI-3, lo que indica una mayor dispersión de los errores y, por tanto, una menor precisión en las proyecciones. Esta diferencia se explica en parte porque PAVER ajusta sus curvas de manera que los valores estimados tienden a coincidir estrechamente con los observados, mientras que el SGPA, al basarse en un modelo probabilístico de cadenas de Márkov, no fuerza dicha coincidencia, lo que genera mayores discrepancias. En cuanto al AIC, PAVER presentó valores bajos, 8,20 para PI-1 y 8,00 para PI-3, lo que indica un buen equilibrio entre ajuste y simplicidad del modelo. Por su parte, el SGPA alcanzó un AIC mucho más alto 62,82 en PI-1/3, lo que refleja un peor ajuste relativo a la complejidad del modelo. Aun así, en ambos casos los valores de AIC del SGPA no son lo suficientemente altos como para sugerir sobreajuste severo, aunque sí evidencian una capacidad explicativa limitada frente a PAVER.

Para las secciones PI-2 y PI-4, PAVER mantuvo un desempeño muy superior, con RMSE de 0,47 y 2,62 respectivamente, frente a 3,98 del SGPA en PI-2/4. Esta menor dispersión de errores en PAVER implica que sus proyecciones son más consistentes con los valores observados, debido a lo antes mencionado que el programa fuerza los valores estimados a los valores observados. En términos de AIC, PAVER con valores de 0,50 en PI-2 y 7,86 en PI-4, mientras que el SGPA registró 50,31 en PI-2/4, lo que sigue demostrando que PAVER es un modelo menos complejo que el empleado por el SGPA.

Para calcular el valor del SCI se agruparon las secciones PI-1 y PI-3, promediando sus valores para generar una única curva representativa. El mismo procedimiento se aplicó a las secciones PI-2 y PI-4. Con este método, se obtuvo un SCI de 0,88 para el primer grupo y de 0,94 para el segundo. Estos resultados indican que, en ambos casos, existe un alto grado de similitud entre las curvas generadas por PAVER y el SGPA, siendo ligeramente mayor en el caso de las secciones PI-2/4. Esto sugiere que, a pesar de las diferencias metodológicas entre ambos modelos, las proyecciones que entregan presentan una forma y comportamiento general muy cercanos.

8 Comparación y análisis planes de mantenimiento

Para poder comparar los planes de mantenimiento generados por ambos programas se compararán los parámetros de optimización presentes en cada uno. Los valores utilizados en el caso de PAVER corresponden a los costos y tipos de trabajo definidos en la Tabla 2 predeterminada de mantenimiento que ofrece el programa, mientras que los valores del SGPA provienen del módulo de mantenimiento desarrollado para el Aeródromo La Florida, seleccionado como caso base para la validación del sistema. En particular, el costo unitario del SGPA se estimó específicamente para las pistas, utilizando precios de referencia actualizados en unidades de fomento (UF), mientras que el costo por emisiones de CO₂ se calculó considerando las actividades asociadas a cada tipo de intervención y su respectiva valorización según el Precio Social del Carbono definido por el Ministerio de Desarrollo Social. Cabe destacar que, en el caso de los trabajos de bacheo y reemplazo de losas, los valores de emisiones varían en función del espesor de la capa intervenida, reflejando el mayor consumo energético y volumen de material requerido. En contraste, los tratamientos de tipo superficial (como el sellado de grietas) mantienen valores de emisión más constantes. (Valderrama, 2025)

Tabla 7 Tabla comparativa parámetros de optimización de mantenimiento

Tipo de Pavimento	Tipo de trabajo (PCI)	Aumento PCI	PAVER	SGPA	
		PAVER	Costo AF (USD)	Costo (UF)	Costo por emisiones de CO ₂ (UF)
Asfalto	Sello de grietas	0	8.20/m	0.197/m	0.001463/m
	Perfilado	0	-	-	
		0	-	-	
	Recapado	Hasta 100	-	-	
	Bacheo profundo	0	75.35/m ²	1.820/m ²	0.03765/m ²
	Bacheo superficial	0	34.98/m ²	-	0.03313/m ²
	Bacheo nivelante	0	13.45/m ²	-	
Hormigón	Sello de juntas	0	8.20/m	0.204/m	
	Sello de grietas	0	8.20/m	0.197/m	
	Bacheo espesor parcial	0	69.97/m ²	-	0.07125/m ²
	Bacheo espesor total	0	269.1/m ²	-	0.14249/m ²
	Reemplazo losa	0	193.75/m ²	5.348/m ²	2.75342/m ²

Como se puede observar en la Tabla 7 la primera diferencia que salta a la vista, es el hecho que PAVER el único trabajo que considera que aumenta el PCI en las curvas de desempeño es el recapado, esto es debido que este trabajo el programa lo clasifica como mayor o global, no así como los otros tipos de trabajos presentados, esto puede ser una desventaja en cuanto al planeamiento de proyectos ya que el hecho de que el programa no señale en alguna parte como afecta a la curva de desempeño puede ocasionar desorganización, ya que por ejemplo si solo veo el PCI y no el historial de trabajos se puede quizás programar trabajos ya realizados ocasionando gastos innecesarios. Además, se puede ver la diferencia entre los costos, aunque cabe mencionar que ambos programas permiten editar los valores de costos unitarios que se ingresan. Por otra parte, con la herramienta “Project Formulation Wizard” se puede destacar que esta no prioriza por sí sola las secciones que necesitan trabajos, eso tiene que definirlo previamente si o si el usuario, la información que entrega este módulo puede observar en la Tabla 8, la cual muestra la cantidad, unidad y costo total de mantenimiento estimado por tipo de trabajo, cabe mencionar que también entrega el tipo de trabajo para cada sección en una tabla mas detallada.

Tabla 8 Entregable “Project Formulation Wizard” para Aeródromo La Florida

Work	Work Items	Quantity	Unit Cost	Work Units	Total Cost [USD]
Patching - AC Shallow	1	1.6	34.98	SqM	\$ 56
Patching - AC Deep	10	123.42	75.35	SqM	\$ 9,299
Crack Sealing - AC	4	38.04	8.20	M	\$ 312
Crack Sealing - PCC	2	24.94	8.20	M	\$ 205
Patching - PCC Partial Depth	2	4.35	69.91	SqM	\$ 304

Si bien PAVER permite editar manualmente los valores de costo y unidad, estos deben ser ingresados por el usuario y no están vinculados a parámetros económicos locales, lo que puede dificultar su aplicación directa en el contexto chileno. En contraste, el SGPA incorpora de manera predeterminada costos expresados en unidades de fomento (UF), unidad vigente en Chile y utilizada habitualmente en la gestión de contratos públicos, lo que facilita la comparación y actualización de valores. Además, el SGPA no solo prioriza los trabajos de mantenimiento preventivo en función del estado del pavimento, sino que también integra el costo ambiental asociado a cada intervención, expresado en términos del costo por emisiones de CO₂. De este modo, el sistema entrega una evaluación más completa que combina criterios económicos, técnicos y de sostenibilidad, ofreciendo una herramienta más adaptada para la planificación y gestión de pavimentos aeroportuarios en Chile.

9 Conclusión y recomendaciones

Durante la implementación del software PAVER, se identificaron diversas fortalezas y dificultades relevantes para su evaluación. Entre las fortalezas, destaca la rapidez del sistema para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), así como la generación automática de reportes técnicos, lo que facilita una visualización inmediata del estado del pavimento. Además, el software incluye archivos de ejemplo de otros aeropuertos y una serie de workshops de apoyo, los cuales resultaron útiles para familiarizarse con las funciones del programa, especialmente en etapas iniciales. Por otra parte, el programa es bastante flexible en cuanto a la edición o adición de tipos de trabajos, costos o índices.

En cuanto a las dificultades, se observó que la interfaz no está completamente traducida al español, por lo que su uso es más fluido en inglés. Esto representa una barrera importante para usuarios que no tienen conocimientos del idioma. A pesar de que el sistema permite importar datos de inspección, el formato requerido es complejo y poco intuitivo, lo que obliga a ingresar los datos manualmente. Por otra parte, el programa solo permite el ingreso de datos de deterioro, lo cual puede presentar un problema al utilizar el programa con datos chilenos, ya que hay informes donde solo se señala el valor de PCI, no los deterioros que causan ese índice. Asimismo, si bien el software cuenta con herramientas de georreferenciación a través de su módulo GIS, no fue posible utilizarlas en este estudio, ya que los informes entregados por la DAP presentan cambios frecuentes en la definición de secciones entre años, lo que impide una referencia espacial coherente.

El análisis comparativo entre los planes de mantenimiento y las curvas de desempeño generadas por el software PAVER y por los componentes del SGPA diseñado para las condiciones chilenas se aplicó a dos aeropuertos nacionales: Aeródromo La Florida y Aeropuerto Andrés Sabella. En ambos casos se observaron diferencias relevantes tanto en la forma de las curvas de desempeño como en los criterios de mantenimiento.

En términos de precisión, PAVER presentó un ajuste estadístico mejor, que se vio reflejado en menores valores de RMSE y AIC. Esto se debe, en gran parte, a que el software ajusta sus curvas para coincidir con los datos ingresados, reduciendo el error de forma artificial. Por su parte, el SGPA, basado en un modelo probabilístico de cadenas de Márkov, no fuerza este ajuste, lo que genera discrepancias mayores, especialmente cuando la base de datos es limitada. En el caso de las curvas generadas para el Aeropuerto Andrés Sabella, como se puede apreciar en la Figura 17, que los valores no bajan de los 70 puntos de PCI debido a que no se tienen datos con valores de PCI menores a eso por lo que el SGPA no puede predecir valores menores.

Respecto a la representación gráfica, PAVER entrega curvas con un deterioro progresivo y continuo, coherente con lo reportado en la literatura técnica. En contraste, el SGPA tiende a estabilizar la condición a partir de cierto punto cuando no dispone de datos suficientes, lo que puede llevar a interpretaciones erróneas si no se comprende la limitación del modelo.

En cuanto a la planificación de mantenimientos, PAVER opera únicamente a nivel de proyecto, es decir, permite evaluar y planificar intervenciones dentro de un aeropuerto o sección específica, pero no realiza una priorización entre distintos aeropuertos o ramas de la red. Esto limita su uso para la gestión ya que no considera la comparación ni la asignación óptima de recursos entre múltiples unidades de análisis. En cambio, el SGPA incorpora esta capacidad de priorización y optimización, permitiendo definir políticas de mantenimiento más globales y orientadas a optimizar el desempeño de toda la red de pavimentos aeroportuarios.

PAVER destaca como una herramienta flexible para editar sus políticas de trabajo, costos y tipos de intervención, pero su capacidad de reflejar el impacto real de los trabajos en la curva de desempeño es limitada, ya que solo ciertos tipos de intervención modifican la proyección, lo que a la larga puede afectar en su eficiencia al planear trabajos.

En cambio, el SGPA incorpora de manera predeterminada costos expresados en UF y considera de forma simultánea el impacto ambiental de cada intervención, calculando el costo por emisiones de CO₂ en función del tipo de trabajo y del espesor de la capa intervenida. Esta integración entre costo económico y costo ambiental permite priorizar las acciones de mantenimiento no solo por su eficiencia técnica, sino también por su contribución a la sostenibilidad, lo que representa una ventaja relevante frente a herramientas de alcance más genérico como PAVER.

En síntesis, PAVER ofrece una solución robusta, validada internacionalmente y alineada con metodologías normalizadas, lo que lo hace confiable para contextos donde se dispone de datos completos y detallados. Por su parte, el SGPA, aunque presenta menor precisión estadística en escenarios con bases de datos limitadas, constituye una herramienta con mayor aplicabilidad práctica en Chile, al integrar criterios técnicos, económicos y medioambientales bajo un mismo modelo. El uso de UF como referencia económica nacional, junto con la incorporación del costo ambiental por emisiones de CO₂, permite obtener una visión más completa del impacto de las intervenciones, orientando la toma de decisiones hacia una gestión aeroportuaria más sostenible.

Como parte de su desarrollo futuro, el SGPA incorporará nuevos modelos predictivos complementarios, entre ellos, un modelo basado en técnicas de “machine learning”, que permitirá mejorar la capacidad de predicción utilizando grandes volúmenes de datos históricos y otro modelo que relaciona el PCI con el nivel de tráfico aéreo, orientado a representar de manera más precisa el deterioro en aeródromos con distintas intensidades operacionales. Estas incorporaciones buscan superar las limitaciones observadas en los modelos actuales, fortaleciendo la aplicabilidad y precisión del sistema.

En base a los resultados obtenidos, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Estandarizar el formato de informes de inspección: Implementar un formato único que incluya tanto el valor del PCI como el detalle de los deterioros, lo que facilitaría el uso de ambos programas.
- Aumentar frecuencia de auscultaciones: Realizar inspecciones con más periodicidad (anuales) generaran una base de datos más robusta, logrando así que los modelos de predicción sean más precisos.
- Utilizar curvas de familia ya generadas en PAVER para apoyar los modelos predictivos del SGPA, especialmente cuando se dispone de pocos datos. Estas se encuentran en el Anexo curvas de familia red primaria.

10 Referencias

- A Al-Rubae, R. H., M Shubber, A. A., Saad Khaleefah -, H., Ghadban Al-Zubaidi, M., Zubaidi, H., Al-Humeidawi -, B. H., H Shubber, K. H., & Noamman Mahdi, M. (2020). Using PAVER Software to Evaluate Pavement Condition Index of Highway Segment in the North Sector of Najaf City (Case Study). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 978(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/978/1/012012>
- Airport Engineering Division AAS-, F. (n.d.). *AC 150/5380-7B, Airport Pavement Management*, 10/10/2014. http://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/.
- Bingham, P. H. (2007). *Transportation research board 2009 executive committee*. www.TRB.org
- Chen, W., Yuan, J., & Li, M. (2012). Application of GIS/GPS in Shanghai airport pavement management system. *Procedia Engineering*, 29, 2322–2326. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.308>
- Córdova, N. (2025). *DESARROLLO DE MODELOS DEL DESEMPEÑO DE PAVIMENTOS AEROPORTUARIOS DE LA RED PRIMARIA DE CHILE, UTILIZANDO LA BASE DE DATOS HISTÓRICA DEL PCI*.
- de Solminihac, H., Echaveguren, T., & Chamorro Alondra. (2018). *Gestión de infraestructura vial* (Universidad Católica de Chile, Ed.; Tercera).
- Di Mascio, P., & Moretti, L. (2019). Implementation of a pavement management system for maintenance and rehabilitation of airport surfaces. *Case Studies in Construction Materials*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00251>
- Faya, P., Rauk, A. P., Griffiths, K. L., & Parekh, B. (2020). A curve similarity approach to parallelism testing in bioassay. *Journal of Biopharmaceutical Statistics*, 30(4), 721–733. <https://doi.org/10.1080/10543406.2020.1730875>
- Gendreau, M., & Soriano, P. (1998). Airport pavement management systems: an appraisal of existing methodologies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(3), 197–214. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(97\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(97)00008-6)
- Hachiya, Y., Watanabe, T., & Kitaochi, K. (n.d.). *Some Issues on Surface Distress of Airport Pavements in Japan*.
- Leder, W. H., & Sproule, W. J. (2013). Airport APMs - History and future. *Automated People Movers and Transit Systems 2013: Half a Century of Automated Transit - Past, Present, and Future - Proceedings of the 14th International Conference*. <https://doi.org/10.1061/9780784412862.002>
- Maqbali, L. Al, & Ragab, O. (2021). A Review of Software in Flexible Pavement Design. *Sustainability in Environment*, 6(2). <https://doi.org/10.22158/se.v6n2p27>
- Ministerio de defensa de Chile. (2005). Decreto 173 APRUEBA REGLAMENTO DE AERODROMOS MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL; SUBSECRETARÍA DE AVIACIÓN. In *Decreto* (Vol. 173).
- Shahin. (2008). Shahin 1994, Pavement for Airports, Roads, Parking Lots, Chapman and Hall, Dept. BC., New York. *Civil Engineering Forum Teknik Sipil*, 18(3).
- Shahin, M. Y., Paver, P., Leader, P., & Baskin Robert Reinke William Nelson Mark Brown Ben Hartmann Spencer Dickey, A. E. (2017). *User Manual*.
- Tofail, M. (2022). *Prediction Modelling of Pavement Deterioration and Pavement Condition Index Assessment in Airport PMS School Rights statement*. <https://doi.org/10.25904/1912/4625>
- Tolmo, M. B. (2020). *Marco teórico para aeropuertos chilenos*.

Universidad Técnica Federico Santa María, & Dirección de Aeropuertos. (2023). *Proyecto Desarrollo y Validación de Sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios para la Red Primaria de Chile. [Presentación de PowerPoint]. Proyecto Fondef IDeA I+D, Chile.*

Valderrama, D. (2025). *INTEGRACIÓN CRITERIOS SOSTENIBLES PARA UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS AEROPORTUARIOS PARA LA RED PRIMARIA DE CHILE Memoria de Título presentada por Ingeniería Civil.*

11 Anexos

11.1 Anexo ingreso de datos PAVER

El ingreso de datos en el software PAVER es un proceso estructurado que comienza con la definición de la jerarquía espacial del área de movimiento (Air side). Para ello, el sistema utiliza una organización en tres niveles, ramas (branches), secciones (section) y unidades muestrales.

- Rama: Corresponde a una vía específica dentro de un aeropuerto, como pista de aterrizaje, calles de rodaje y plataformas.
- Sección: Tramo continuo con condiciones estructurales y funcionales similares, dentro de las ramas debido que estas últimas usualmente contienen una gran cantidad de superficie de pavimento.
- Unidad Muestral: División más pequeña de cada sección, según lo definido en la norma ASTM D5340, estas deben ser de $450 \text{ m}^2 \pm 90 \text{ m}^2$ para el caso de pavimentos asfálticos y 20 ± 8 losas para los pavimentos de hormigón.

Una vez establecida la estructura, se procede al ingreso de datos básicos para lograr el funcionamiento del software, en el siguiente orden:

1. Datos generales del aeropuerto y sus ramas (nombre, código, tipo de uso), en la Figura 3 se muestra la ventana generada por PAVER.

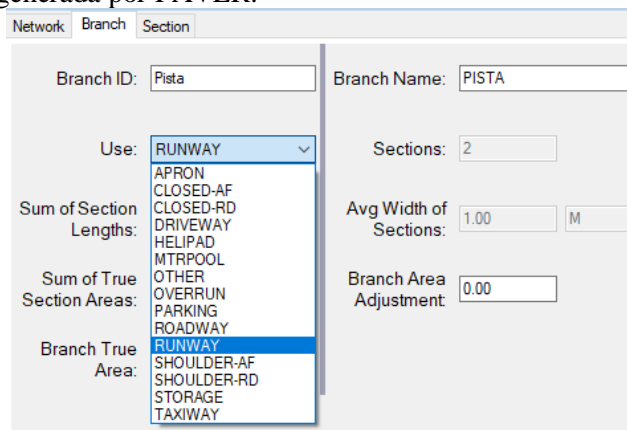


Figura 18 Ventana mostrada por Paver para definir ramas

2. Características geométricas y constructivas de las secciones (tipo de pavimento, año de construcción, ancho, longitud y prioridad o rank).

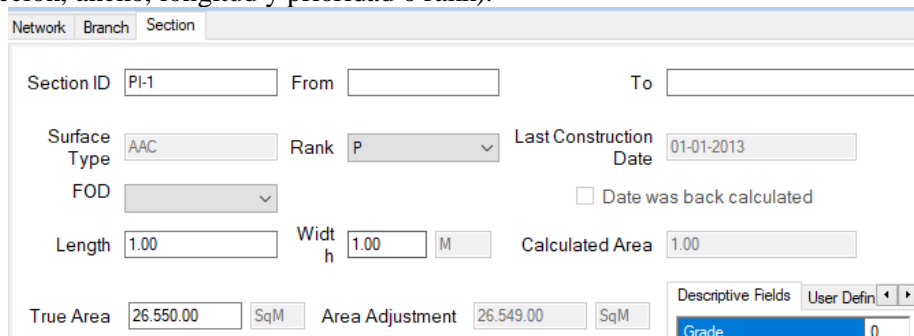


Figura 19 Ventana mostrada por Paver para definir secciones

3. Definición de fecha de inspección, cantidad y geometría de unidades muestrales, en la Figura 5 se muestra la ventana generada por PAVER para ingresar información sobre las auscultaciones y en la Figura 6 ventana generada para ingresar información sobre la UM.

Inspection Date
01-01-2019

Inspection Details
Section's total samples 59 PCI Inspection

Figura 20 Ventana mostrada por Paver para definir cantidad de UM y su fecha de inspección

Sample

Sample Details

Number 1

Size 450.00 SqM

Sample Details

Number 001

Size 20.00 Slabs

Figura 21 Ventana mostrada por Paver para definir el tamaño de UM (derecha pavimentos rígidos / izquierda pavimentos asfálticos)

4. Ingreso manual de los deterioros informados.

Sample <Click here to minimize>

1 450.00 SqM PCI 95.8 No distresses found on sample

Remaining samples have no distress

Distress selection

41 ALLIGATOR CR	L	M	H
42 BLEEDING	N		
43 BLOCK CR	L	M	H
44 CORRUGATION	L	M	H
45 DEPRESSION	L	M	H
46 JET BLAST	N		
47 JT REF. CR	L	M	H
48 L & T CR	L	M	H
49 OIL SPILLAGE	N		
50 PATCHING	L	M	H
51 POLISHED AG	N		
52 RAVELING	L	M	H
53 RUTTING	L	M	H
54 SHOWING	L	M	H
55 SLIPPAGE CR	N		
56 SWELLING	L	M	H
57 WEATHERING	L	M	H

Quantity

1	2	3
4	5	6
7	8	9
C	0	.

9.00 M

Distresses

Distress	Description	Severity	Quantity
48	L & T CR	Low	9.00

48 L & T CR - L

Figura 22 Ventana mostrada por Paver para ingreso de deterioros de pavimentos asfálticos

Sample <Click here to minimize>

001 20 Slabs PCI 99 No distresses found on sample

Remaining Slabs have no distress

Select Relocate

61 BLOWUP	L	M	H
62 CORNER BREAK	L	M	H
63 LINEAR CR	L	M	H
64 DURABLE CR	L	M	H
65 JT SEAL DMG	L	M	H
66 SMALL PATCH	L	M	H
67 LARGE PATCH	L	M	H
68 POPOUTS	N		
69 PUMPING	N		
70 SCALING	L	M	H
71 FAULTING	L	M	H
72 SHAT. SLAB	L	M	H
73 SHRINKAGE CR	N		
74 JOINT SPALL	L	M	H
75 CORNER SPALL	L	M	H
76 ASR	L	M	H

66 SMALL PATCH - L

Joint seal damage applies to the entire sample.

Figura 23 Ventana mostrada por Paver para ingreso de deterioros de pavimentos rígidos

5. Obtención inmediata del PCI por cada sección y rama, en la Figura 9 se muestra la ventana generada por PAVER donde se informa el valor de PCI por la sección seleccionada.

Network Id:

Branch Id: Branch Name: Section Area:

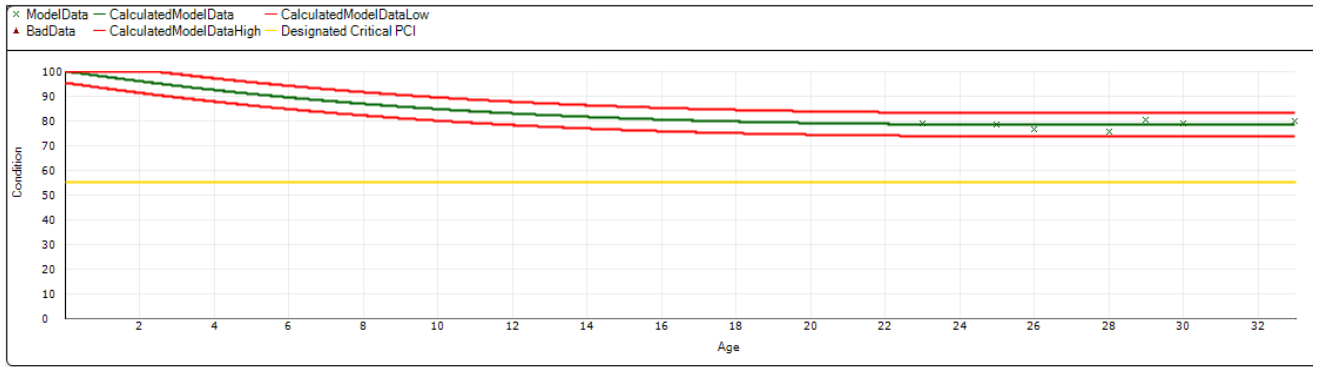
Section Id: Section Length: Section Width:

Index: Date: Condition:

Figura 24 Ventana mostrada por PAVER para señalar valor PCI por sección

11.2 Anexo Curvas de familia

11.2.1 Curvas de familia Aeródromo La Florida



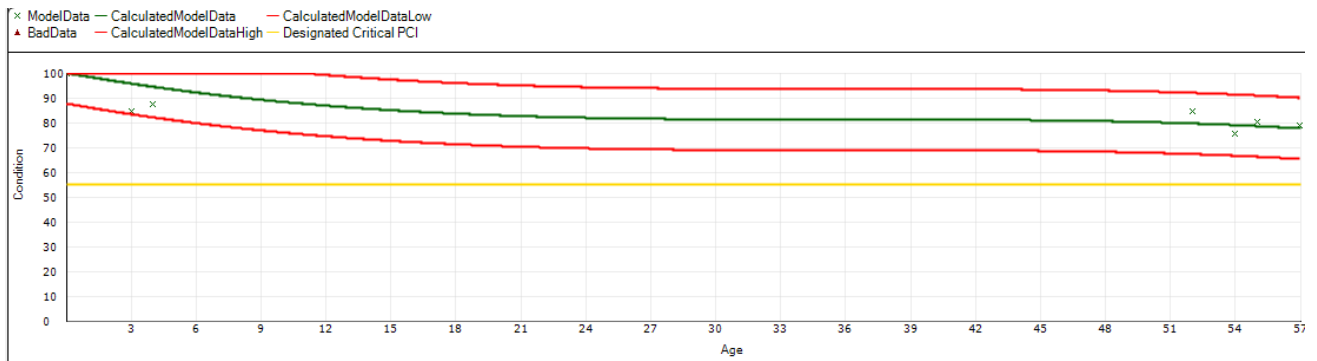
1. Review Model Data 2. Use Boundary / Outlier 3. Options 4. View Equations and Stats 5. Assign Family

$$100 - 2.19121932983398 X^1 + 0.0733743011951447 X^2 - 0.000818969332613051 X^3 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.98

Approximate R² 0.96

Figura 25 Sección borde de pista



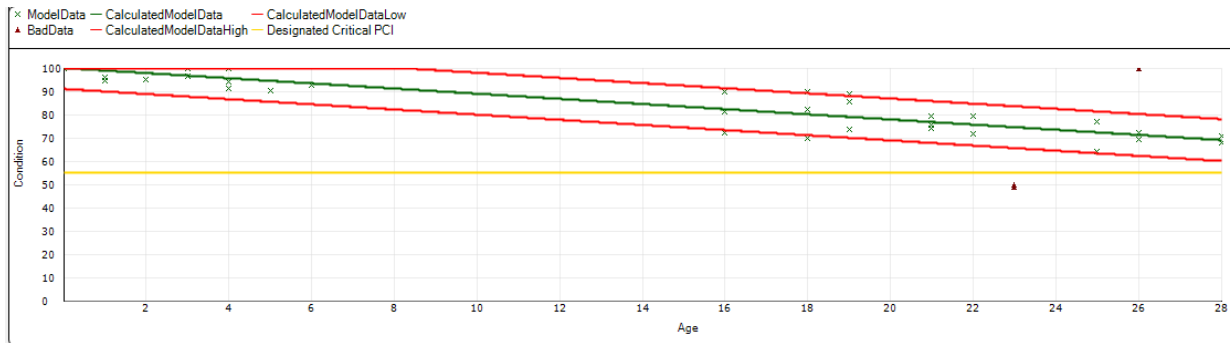
1. Review Model Data 2. Use Boundary / Outlier 3. Options 4. View Equations and Stats 5. Assign Family

$$100 - 1.55984234809875 X^1 + 0.0430986471474171 X^2 - 0.000396916322642937 X^3 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.894

Approximate R² 0.799

Figura 26 Sección plataformas de pavimento rigido

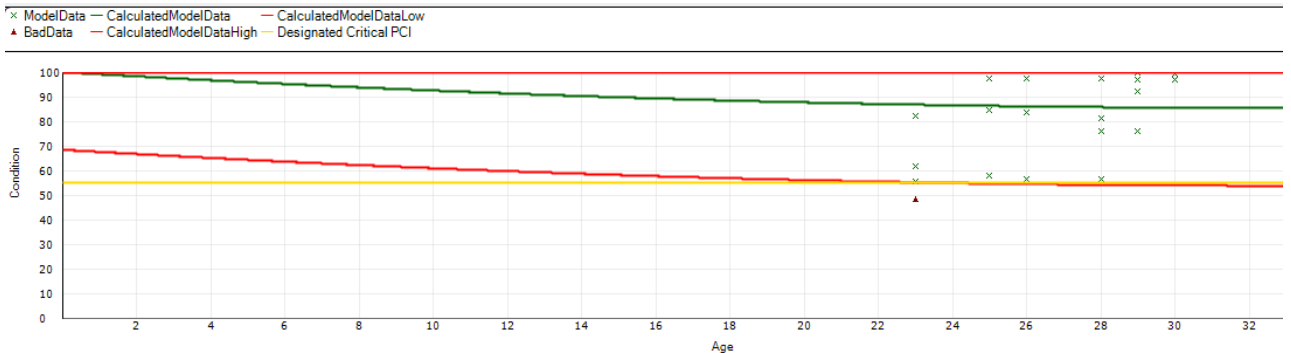


1. Review Model Data 2. Use Boundary / Outlier 3. Options 4. View Equations and Stats 5. Assign Family

100 - 1.1070544719696 X^1 PCI Pts

Coeff of correlation 0.931
Approximate R^2 0.867

Figura 27 Sección plataformas de pavimento flexible



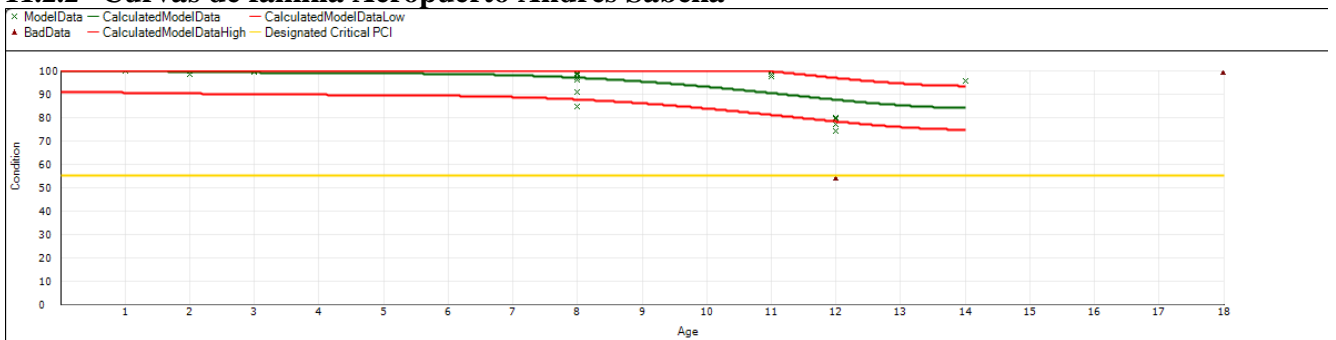
1. Review Model Data 2. Use Boundary / Outlier 3. Options 4. View Equations and Stats 5. Assign Family

100 - 0.885617613792419 X^1 + 0.0134163163602352 X^2 PCI Pts

Coeff of correlation 0.317
Approximate R^2 0.101

Figura 28 Sección Rodajes

11.2.2 Curvas de familia Aeropuerto Andrés Sabella

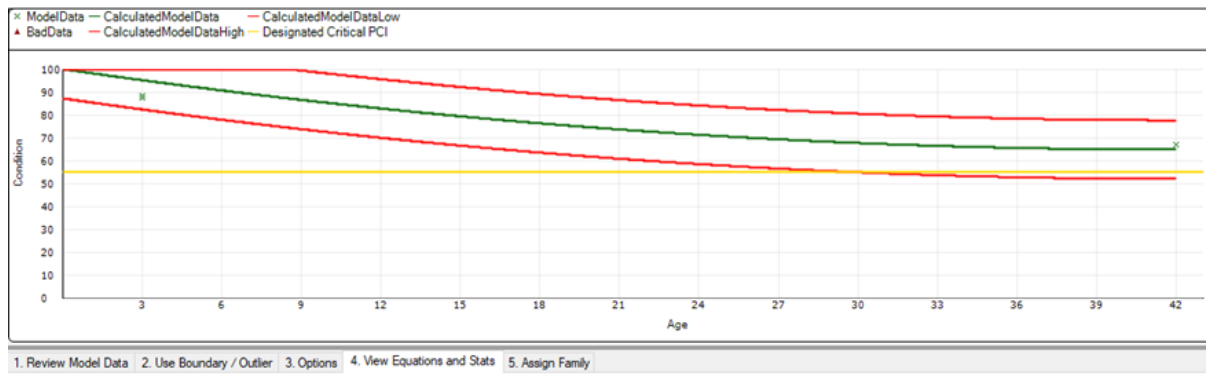


1. Review Model Data 2. Use Boundary / Outlier 3. Options 4. View Equations and Stats 5. Assign Family

100 + 6.66704499963089E-06 X^1 - 0.303410172462463 X^2 + 0.0970396623015404 X^3 - 0.1113025493919849 X^4 + 0.00039304670644924 X^5 PCI Pts

Coeff of correlation 0.697
Approximate R^2 0.486

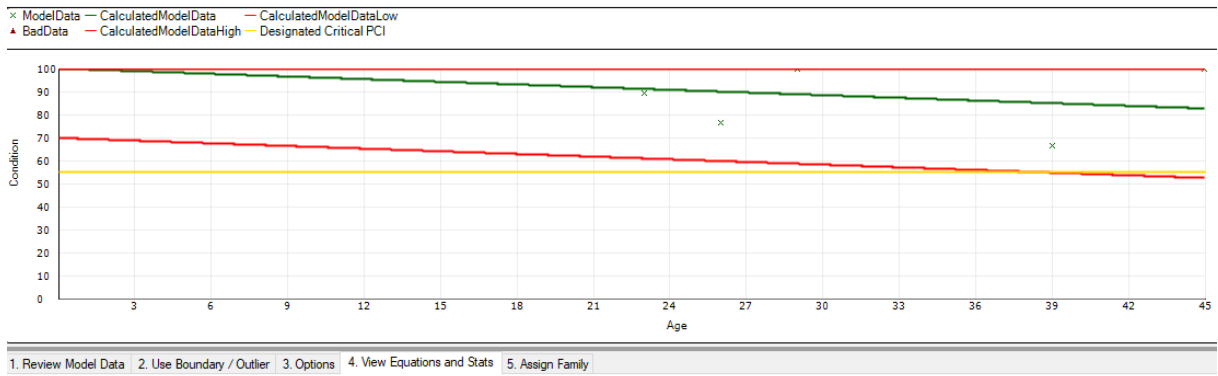
Figura 29 Sección pistas de pavimento flexible



100 - 1.67728614807129 X¹ + 0.0199671965092421 X² PCI Pts

Coeff of correlation 0.954
Approximate R² 0.91

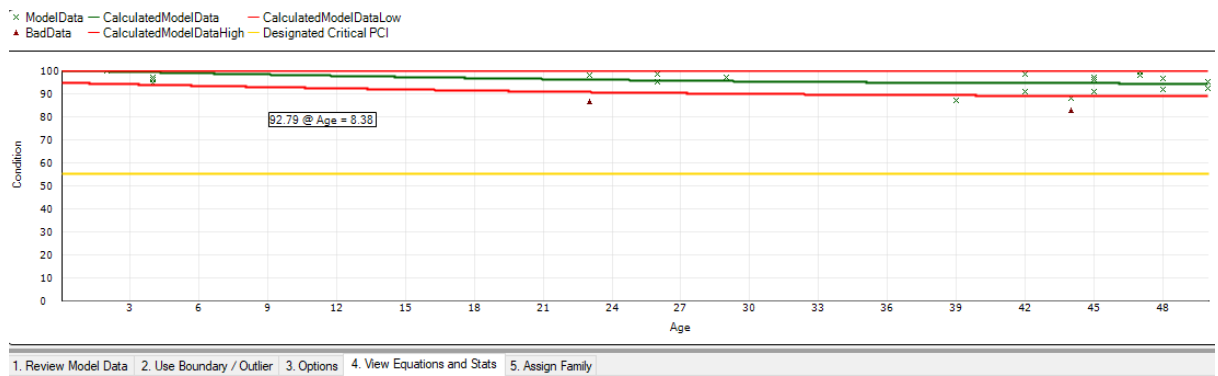
Figura 30 Sección pistas de pavimento rígido



100 - 0.386738359928131 X¹ PCI Pts

Coeff of correlation 0.482
Approximate R² 0.232

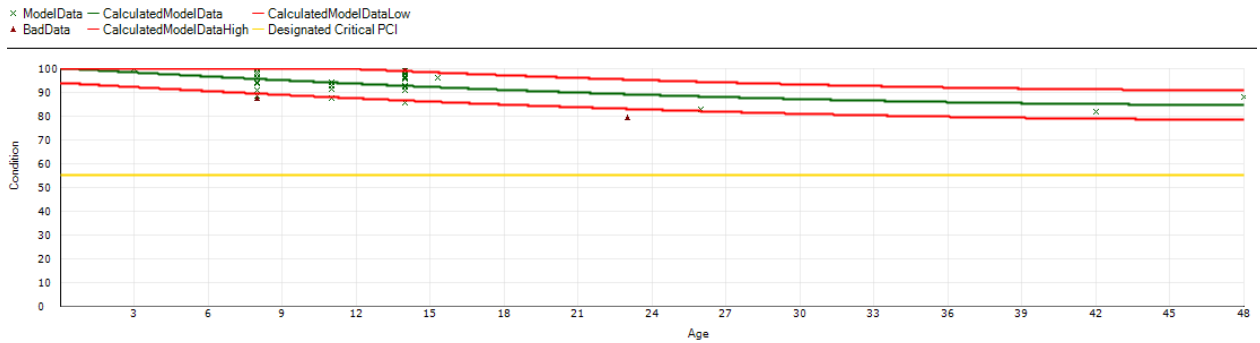
Figura 31 Sección plataformas de pavimento flexible



100 - 0.229964569211006 X¹ + 0.00229970854707062 X² PCI Pts

Coeff of correlation 0.718
Approximate R² 0.516

Figura 32 Sección plataformas de pavimento rígido

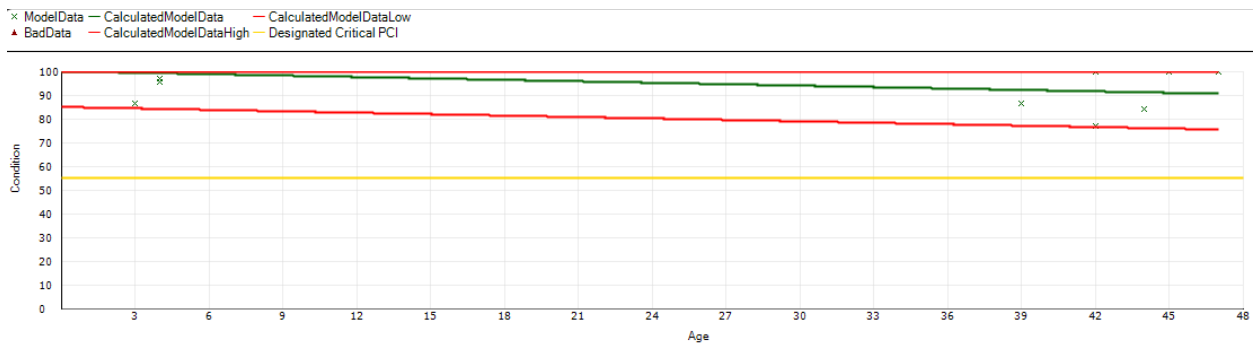


1. Review Model Data 2. Use Boundary / Outlier 3. Options 4. View Equations and Stats 5. Assign Family

$$100 - 0.620271921157837 X^1 + 0.00619992101565003 X^2 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.802
Approximate R² 0.644

Figura 33 Sección rodaje de pavimento flexible

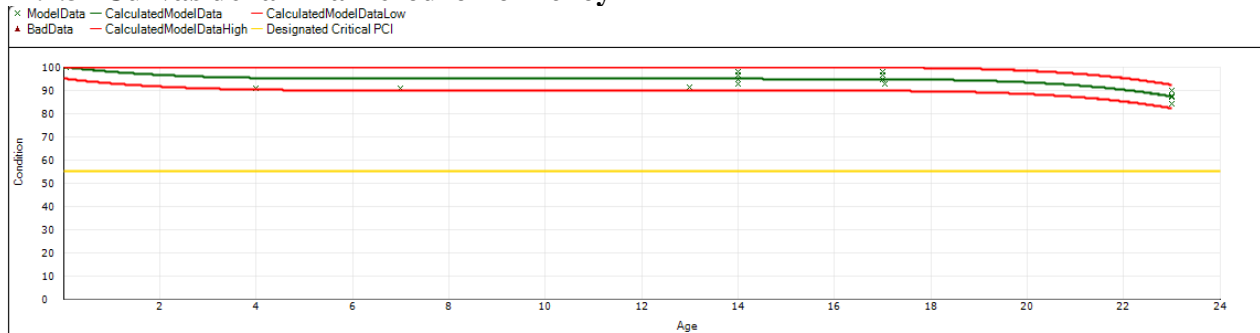


1. Review Model Data 2. Use Boundary / Outlier 3. Options 4. View Equations and Stats 5. Assign Family

$$100 - 0.20207890868187 X^1 \text{ PCI Pts}$$

Figura 34 Sección rodaje de pavimento rígido

11.2.3 Curvas de familia Aeródromo Pichoy

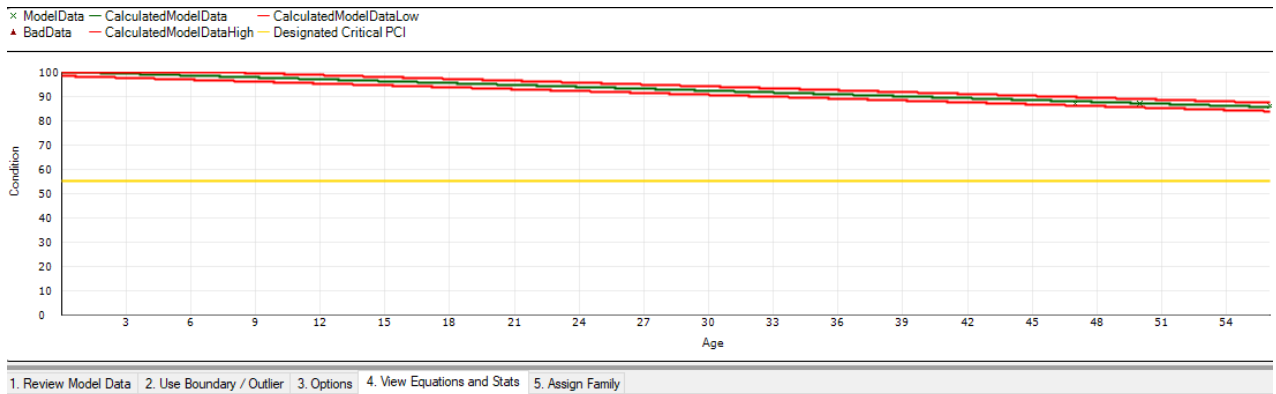


1. Review Model Data 2. Use Boundary / Outlier 3. Options 4. View Equations and Stats 5. Assign Family

$$100 - 2.58104562759399 X^1 + 0.50278172794342 X^2 - 0.0477450042963028 X^3 + 0.00220571854151785 X^4 - 3.97383846575394E-05 X^5 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.895
Approximate R² 0.8

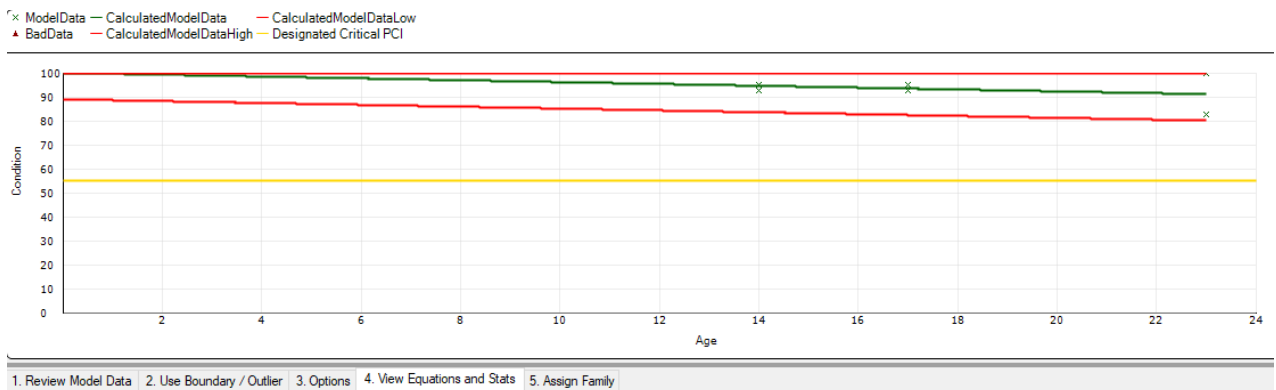
Figura 35 Sección pista pavimento flexible



100 - 0.259440392255783 X¹ PCI Pts

Coeff of correlation 0.997
 Approximate R² 0.994

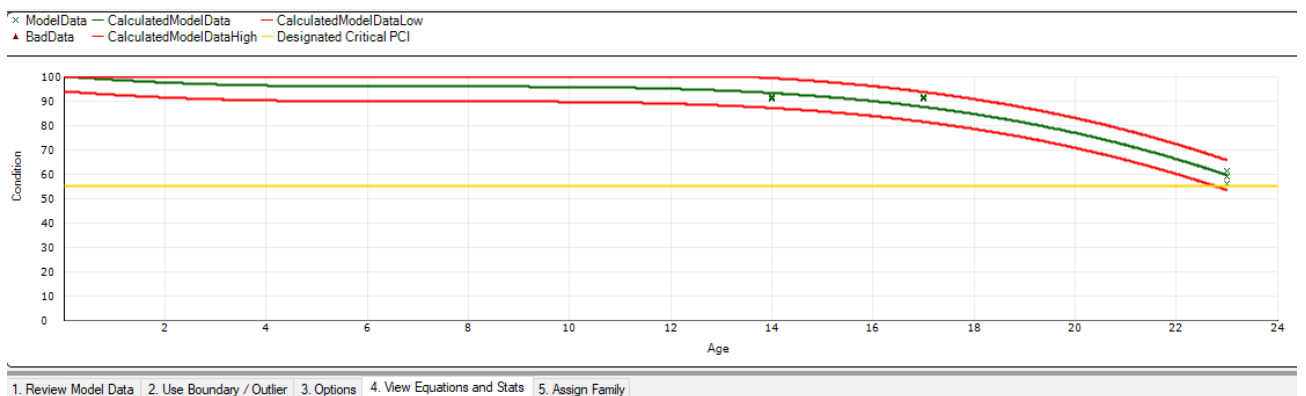
Figura 36 Sección pistas de pavimento rígido



100 - 0.387270420789719 X¹ PCI Pts

Coeff of correlation 0.586
 Approximate R² 0.344

Figura 37 Sección plataformas



100 - 1.68479347229004 X¹ + 0.223100289702415 X² - 0.00984750967472792 X³ PCI Pts

Coeff of correlation 0.989
 Approximate R² 0.977

Figura 38 Sección rodaje

11.3 Anexo Política de M&R del tipo preventiva

Distress	Severity	Description	Work Type
41	Medium	<i>ALLIGATOR CR</i>	Patching - AC Deep
41	Low	<i>ALLIGATOR CR</i>	Surface Seal
41	High	<i>ALLIGATOR CR</i>	Patching - AC Deep
42	N/A	<i>BLEEDING</i>	Patching - AC Shallow
43	High	<i>BLOCK CR</i>	Patching - AC Deep
43	Medium	<i>BLOCK CR</i>	Crack Sealing - AC
43	Low	<i>BLOCK CR</i>	Surface Seal
44	Medium	<i>CORRUGATION</i>	Patching - AC Shallow
44	Low	<i>CORRUGATION</i>	Patching - AC Shallow
44	High	<i>CORRUGATION</i>	Patching - AC Shallow
45	Medium	<i>DEPRESSION</i>	Patching - AC Deep
45	Low	<i>DEPRESSION</i>	Patching - AC Deep
45	High	<i>DEPRESSION</i>	Patching - AC Deep
47	High	<i>JT REF. CR</i>	Crack Sealing - AC
47	Medium	<i>JT REF. CR</i>	Crack Sealing - AC
48	Medium	<i>L & T CR</i>	Crack Sealing - AC
48	High	<i>L & T CR</i>	Crack Sealing - AC
49	N/A	<i>OIL SPILLAGE</i>	Patching - AC Deep
50	Medium	<i>PATCHING</i>	Patching - AC Deep
50	High	<i>PATCHING</i>	Patching - AC Deep
52	High	<i>RAVELING</i>	Patching - AC Shallow
53	Medium	<i>RUTTING</i>	Patching - AC Deep
53	Low	<i>RUTTING</i>	Patching - AC Deep
53	High	<i>RUTTING</i>	Patching - AC Deep
54	High	<i>SHOVING</i>	Grinding (Localized)
54	Low	<i>SHOVING</i>	Grinding (Localized)
54	Medium	<i>SHOVING</i>	Grinding (Localized)
55	N/A	<i>SLIPPAGE CR</i>	Patching - AC Deep
56	High	<i>SWELLING</i>	Patching - AC Deep
56	Low	<i>SWELLING</i>	Patching - AC Deep
56	Medium	<i>SWELLING</i>	Patching - AC Deep
61	Low	<i>BLOW-UP</i>	Patching - PCC Full Depth
61	Medium	<i>BLOW-UP</i>	Patching - PCC Full Depth
61	High	<i>BLOW-UP</i>	Patching - PCC Full Depth
62	Medium	<i>CORNER BREAK</i>	Patching - PCC Full Depth
62	High	<i>CORNER BREAK</i>	Patching - PCC Full Depth
62	Low	<i>CORNER BREAK</i>	Crack Sealing - PCC
63	Medium	<i>LINEAR CR</i>	Crack Sealing - PCC
63	High	<i>LINEAR CR</i>	Patching - PCC Partial Depth
64	Medium	<i>DURABIL. CR</i>	Patching - PCC Full Depth
64	High	<i>DURABIL. CR</i>	Slab Replacement - PCC
65	High	<i>JT SEAL DMG</i>	Joint Seal (Localized)
65	Medium	<i>JT SEAL DMG</i>	Joint Seal (Localized)
66	High	<i>SMALL PATCH</i>	Patching - PCC Partial Depth
66	Medium	<i>SMALL PATCH</i>	Patching - PCC Partial Depth
67	Medium	<i>LARGE PATCH</i>	Patching - PCC Full Depth
67	High	<i>LARGE PATCH</i>	Patching - PCC Full Depth
69	N/A	<i>PUMPING</i>	Joint Seal (Localized)
70	Medium	<i>SCALING</i>	Patching - PCC Partial Depth
70	High	<i>SCALING</i>	Slab Replacement - PCC
71	High	<i>FAULTING</i>	Grinding (Localized)
71	Medium	<i>FAULTING</i>	Grinding (Localized)
72	Medium	<i>SHAT. SLAB</i>	Slab Replacement - PCC
72	High	<i>SHAT. SLAB</i>	Slab Replacement - PCC
74	High	<i>JOINT SPALL</i>	Patching - PCC Partial Depth
74	Medium	<i>JOINT SPALL</i>	Patching - PCC Partial Depth
75	Medium	<i>CORNER SPALL</i>	Patching - PCC Partial Depth
75	High	<i>CORNER SPALL</i>	Patching - PCC Partial Depth
76	Medium	<i>ASR</i>	Slab Replacement - PCC
76	High	<i>ASR</i>	Slab Replacement - PCC

11.4 Anexo Política de M&R del tipo “safety”

Distress	Severity	Description	Work Type
41	High	<i>ALLIGATOR CR</i>	Patching - AC Deep
43	High	<i>BLOCK CR</i>	Crack Sealing - AC
44	High	<i>CORRUGATION</i>	Patching - AC Shallow
45	High	<i>DEPRESSION</i>	Patching - AC Deep
47	High	<i>JT REF. CR</i>	Crack Sealing - AC
48	High	<i>L & T CR</i>	Crack Sealing - AC
50	High	<i>PATCHING</i>	Patching - AC Deep
52	High	<i>RAVELING</i>	Patching - AC Shallow
53	High	<i>RUTTING</i>	Patching - AC Deep
54	High	<i>SHOVING</i>	Grinding (Localized)
55	N/A	<i>SLIPPAGE CR</i>	Patching - AC Deep
56	High	<i>SWELLING</i>	Patching - AC Deep
61	High	<i>BLOW-UP</i>	Slab Replacement - PCC
61	Medium	<i>BLOW-UP</i>	Patching - PCC Full Depth
62	High	<i>CORNER BREAK</i>	Patching - PCC Full Depth
63	High	<i>LINEAR CR</i>	Patching - PCC Full Depth
63	Medium	<i>LINEAR CR</i>	Crack Sealing - PCC
64	High	<i>DURABIL. CR</i>	Slab Replacement - PCC
64	Medium	<i>DURABIL. CR</i>	Patching - PCC Full Depth
66	High	<i>SMALL PATCH</i>	Patching - PCC Partial Depth
67	High	<i>LARGE PATCH</i>	Patching - PCC Full Depth
70	High	<i>SCALING</i>	Slab Replacement - PCC
71	High	<i>FAULTING</i>	Grinding (Localized)
72	High	<i>SHAT. SLAB</i>	Slab Replacement - PCC
74	High	<i>JOINT SPALL</i>	Patching - PCC Partial Depth
75	High	<i>CORNER SPALL</i>	Patching - PCC Partial Depth
76	High	<i>ASR</i>	Slab Replacement - PCC

11.5 Anexo resultados del módulo “M&R Work Planning”

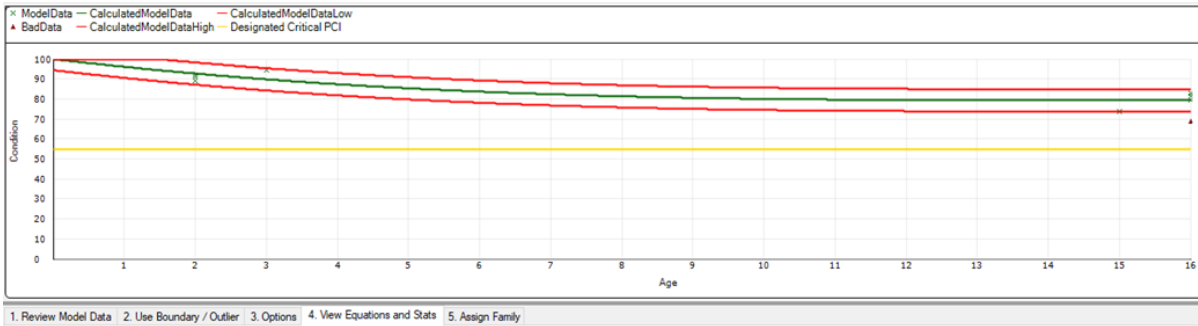
Network/ Branch/	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Air Side.:Pista.:PL-1	Do Nothing Before:94.45 After:94.45	Do Nothing Before:93.59 After:93.59	Do Nothing Before:92.73 After:92.73	Do Nothing Before:91.87 After:91.87	Do Nothing Before:91.01 After:91.01	Do Nothing Before:90.15 After:90.15
Air Side.:Pista.:PL-2	Major Above Critical \$723827.34 Before:79.17 After:100	Do Nothing Before:97.88 After:97.88	Do Nothing Before:95.9 After:95.9	Do Nothing Before:94.06 After:94.06	Do Nothing Before:92.36 After:92.36	Do Nothing Before:90.78 After:90.78
Air Side.:Platf.:PL-1/A	Major Above Critical \$149251.95 Before:72.65 After:100	Do Nothing Before:98.89 After:98.89	Do Nothing Before:97.79 After:97.79	Do Nothing Before:96.68 After:96.68	Do Nothing Before:95.57 After:95.57	Do Nothing Before:94.46 After:94.46
Air Side.:Platf.:PL-2/B	Major Above Critical \$70627.1 Before:63.24 After:100	Do Nothing Before:98.89 After:98.89	Do Nothing Before:97.79 After:97.79	Do Nothing Before:96.68 After:96.68	Do Nothing Before:95.57 After:95.57	Do Nothing Before:94.46 After:94.46
Air Side.:Platf.:PL-3/C	Major Above Critical \$94900.05 Before:66.54 After:100	Do Nothing Before:98.89 After:98.89	Do Nothing Before:97.79 After:97.79	Do Nothing Before:96.68 After:96.68	Do Nothing Before:95.57 After:95.57	Do Nothing Before:94.46 After:94.46
Air Side.:Platf.:PL-4/D	Major Above Critical \$75782.34 Before:60.04 After:100	Do Nothing Before:98.89 After:98.89	Do Nothing Before:97.79 After:97.79	Do Nothing Before:96.68 After:96.68	Do Nothing Before:95.57 After:95.57	Do Nothing Before:94.46 After:94.46
Air Side.:Platf.:PL-5/E	Major Above Critical \$167523.55 Before:75.7 After:100	Do Nothing Before:98.48 After:98.48	Do Nothing Before:97.05 After:97.05	Do Nothing Before:95.7 After:95.7	Do Nothing Before:94.42 After:94.42	Do Nothing Before:93.23 After:93.23
Air Side.:Platf.:PL-6/G	Do Nothing Before:85.04 After:85.04	Do Nothing Before:83.94 After:83.94	Do Nothing Before:82.83 After:82.83	Do Nothing Before:81.72 After:81.72	Do Nothing Before:80.62 After:80.62	Major Above Critical \$12805.06 Before:79.51 After:100
Air Side.:Platf.:PL-7/F	Do Nothing Before:97.68 After:97.68	Do Nothing Before:96.57 After:96.57	Do Nothing Before:95.46 After:95.46	Do Nothing Before:94.36 After:94.36	Do Nothing Before:93.25 After:93.25	Do Nothing Before:92.14 After:92.14
Air Side.:Platf.:PL-8/2020	Do Nothing Before:97.78 After:97.78	Do Nothing Before:96.67 After:96.67	Do Nothing Before:95.56 After:95.56	Do Nothing Before:94.46 After:94.46	Do Nothing Before:93.35 After:93.35	Do Nothing Before:92.24 After:92.24
Air Side.:Platf.:PL-9/2020	Do Nothing Before:86.25 After:86.25	Do Nothing Before:85.63 After:85.63	Do Nothing Before:85.06 After:85.06	Do Nothing Before:84.54 After:84.54	Do Nothing Before:84.07 After:84.07	Do Nothing Before:83.64 After:83.64
Air Side.:Platf.:PL-H	Do Nothing Before:83.65 After:83.65	Do Nothing Before:82.54 After:82.54	Do Nothing Before:81.44 After:81.44	Do Nothing Before:80.33 After:80.33	Do Nothing Before:79.22 After:79.22	Major Above Critical \$87265.2 Before:78.11 After:100
Air Side.:Platf.:PL-I	Do Nothing Before:97.88 After:97.88	Do Nothing Before:96.77 After:96.77	Do Nothing Before:95.66 After:95.66	Do Nothing Before:94.56 After:94.56	Do Nothing Before:93.45 After:93.45	Do Nothing Before:92.34 After:92.34
Air Side.:Platf.:PL-J	Do Nothing Before:83.48 After:83.48	Do Nothing Before:83.12 After:83.12	Do Nothing Before:82.8 After:82.8	Do Nothing Before:82.51 After:82.51	Do Nothing Before:82.26 After:82.26	Do Nothing Before:82.05 After:82.05
Air Side.:Rodj.:MG-B	Do Nothing Before:99.05 After:99.05	Do Nothing Before:99.02 After:99.02	Do Nothing Before:98.99 After:98.99	Do Nothing Before:98.97 After:98.97	Do Nothing Before:98.94 After:98.94	Do Nothing Before:98.91 After:98.91
Air Side.:Rodj.:MG-C	Do Nothing Before:98.62 After:98.62	Do Nothing Before:98.59 After:98.59	Do Nothing Before:98.55 After:98.55	Do Nothing Before:98.51 After:98.51	Do Nothing Before:98.47 After:98.47	Do Nothing Before:98.43 After:98.43
Air Side.:Umb.:UI2-1	Do Nothing Before:80 After:80	Major Above Critical \$54193.12 Before:79.43 After:100	Do Nothing Before:97 After:97	Do Nothing Before:94 After:94	Do Nothing Before:91 After:91	Do Nothing Before:88 After:88
Air Side.:Umb.:UI2-2	Do Nothing Before:87.44 After:87.44	Do Nothing Before:86.46 After:86.46	Do Nothing Before:85.49 After:85.49	Do Nothing Before:84.52 After:84.52	Do Nothing Before:83.54 After:83.54	Do Nothing Before:82.57 After:82.57
Air Side.:Umb.:UI30-1	Major Above Critical \$69822.53 Before:77.89 After:100	Do Nothing Before:97 After:97	Do Nothing Before:94 After:94	Do Nothing Before:91 After:91	Do Nothing Before:88 After:88	Do Nothing Before:85 After:85
Air Side.:Umb.:UI30-2	Major Above Critical \$9038.45 Before:79.45 After:100	Do Nothing Before:97 After:97	Do Nothing Before:94 After:94	Do Nothing Before:91 After:91	Do Nothing Before:88 After:88	Do Nothing Before:85 After:85
Air Side.:Umb.:ZPC+12	Do Nothing Before:82.33 After:82.33	Do Nothing Before:81.82 After:81.82	Do Nothing Before:81.32 After:81.32	Do Nothing Before:80.81 After:80.81	Do Nothing Before:80.31 After:80.31	Major Above Critical \$25523.36 Before:79.8 After:100
Air Side.:Umb.:ZPC+30	Do Nothing Before:80.85 After:80.85	Do Nothing Before:80.3 After:80.3	Major Above Critical \$25607.4 Before:79.75 After:100	Do Nothing Before:97 After:97	Do Nothing Before:94 After:94	Do Nothing Before:91 After:91

11.6 Anexo curvas de familia red primaria

11.6.1 Aeropuerto Chacalluta



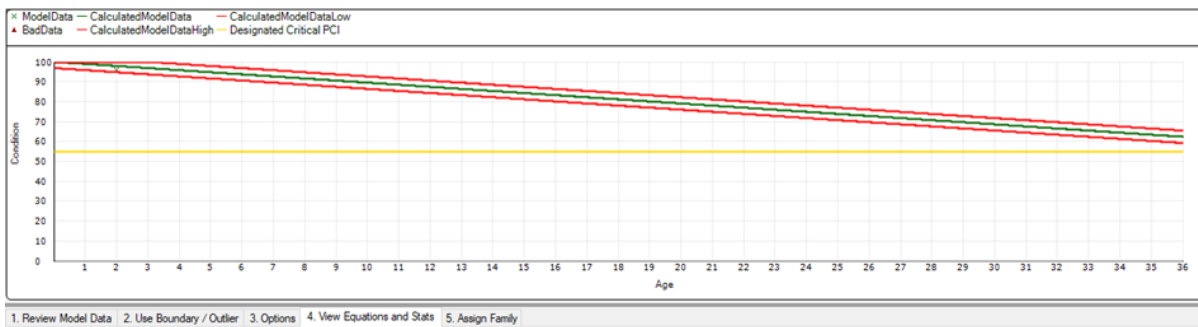
Figura 39 Sección pistas



$$100 - 4.18763589859009 X^1 + 0.282756745815277 X^2 - 0.00636400142684579 X^3 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.965
 Approximate R² 0.932

Figura 40 Sección rodaje

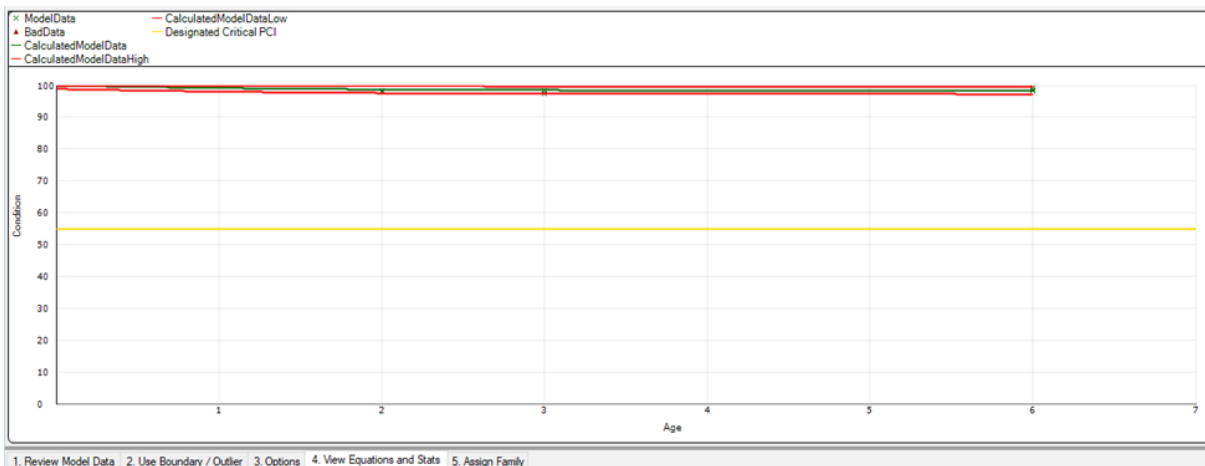


$$100 - 1.04723036289215 X^1 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.999
 Approximate R² 0.998

Figura 41 Sección plataforma de hormigón

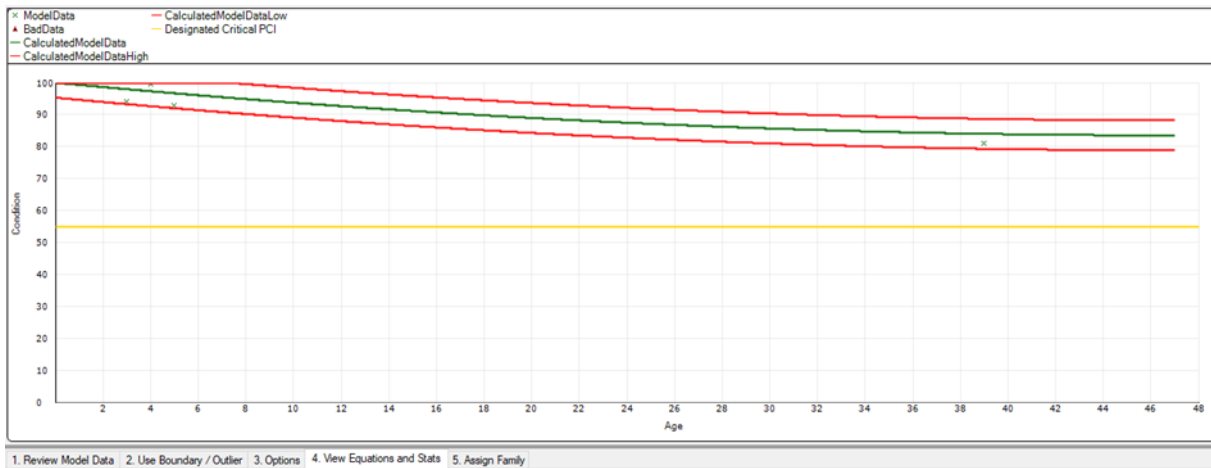
11.6.2 Aeropuerto Diego Aracena



$$100 - 1.02926588058472 X^1 + 0.224199533462524 X^2 - 0.0162780415266752 X^3 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.837
 Approximate R² 0.701

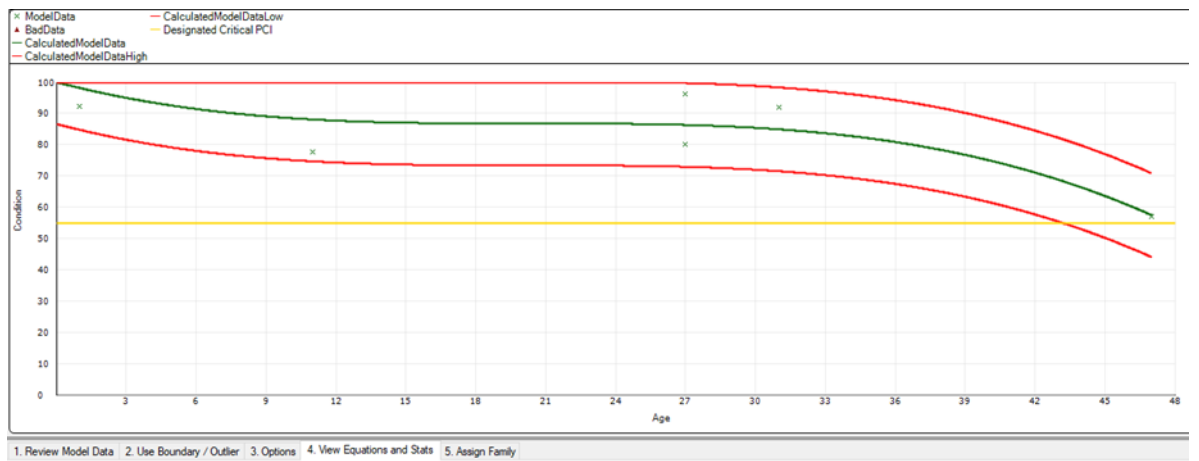
Figura 42 Sección pistas de asfalto



$$100 - 0.702065587043762 X^1 + 0.00746867619454861 X^2 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.871
 Approximate R² 0.759

Figura 43 Sección rodaje alfa

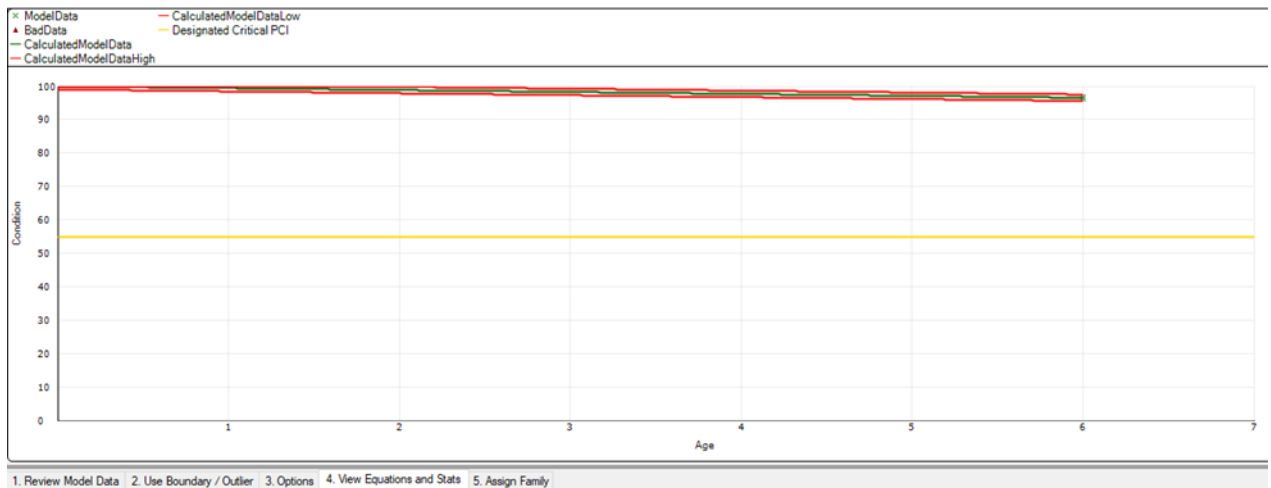


$$100 - 1.9479775428772 X^1 + 0.0954511165618896 X^2 - 0.00155889126472175 X^3 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.914
 Approximate R² 0.835

Figura 44 Sección plataforma

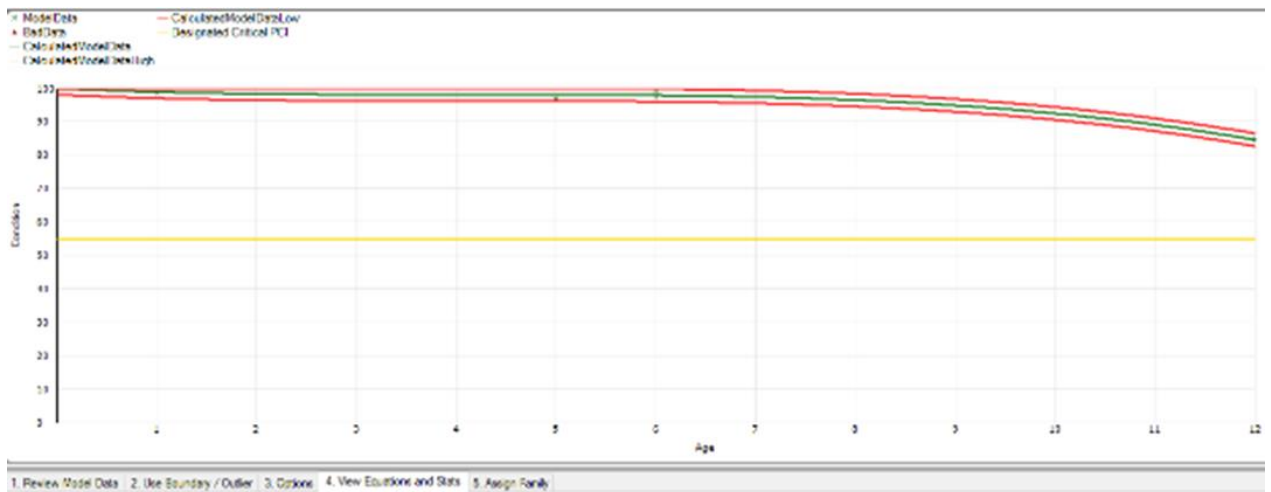
11.6.3 Aeródromo El Loa



100 - 0.57486891746521 X^1 PCI Pts

Coeff of correlation 0.99
 Approximate R^2 0.98

Figura 45 Sección pista



100 - 1.39987146854401 X^1 + 0.340436100959778 X^2 - 0.0275953039526939 X^3 PCI Pts

Coeff of correlation 0.985
 Approximate R^2 0.97

Figura 46 Sección rodaje}

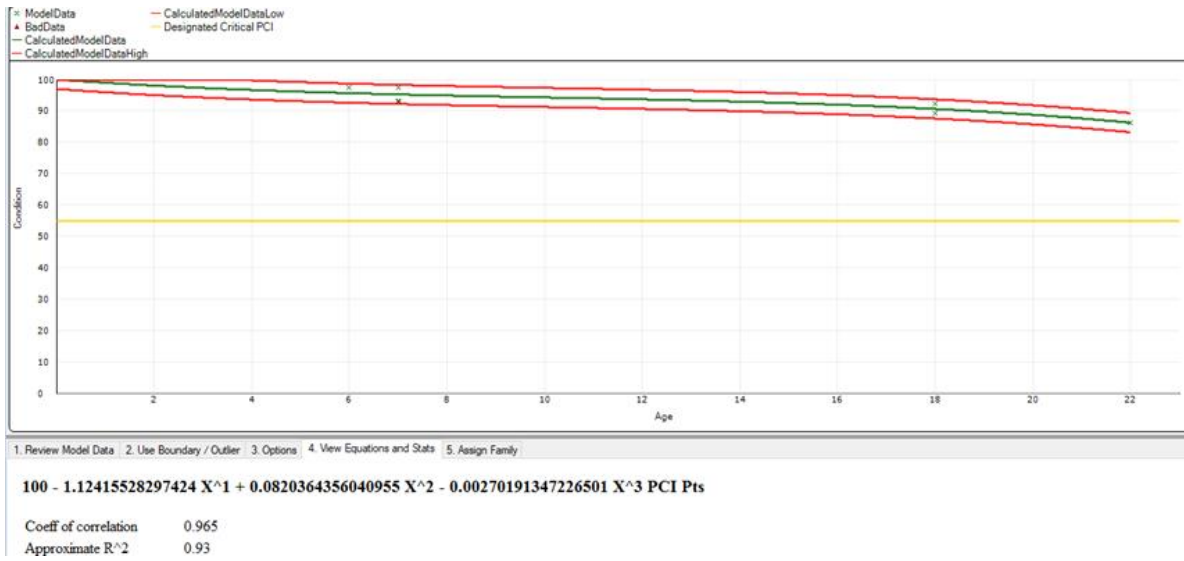


Figura 47 Sección plataforma de asfalto

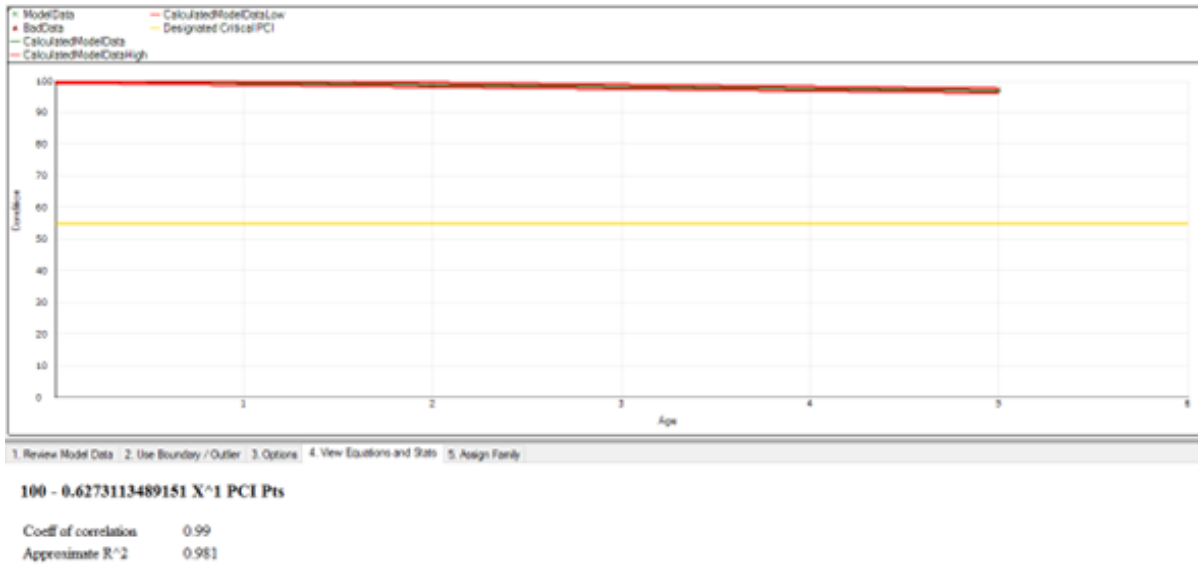
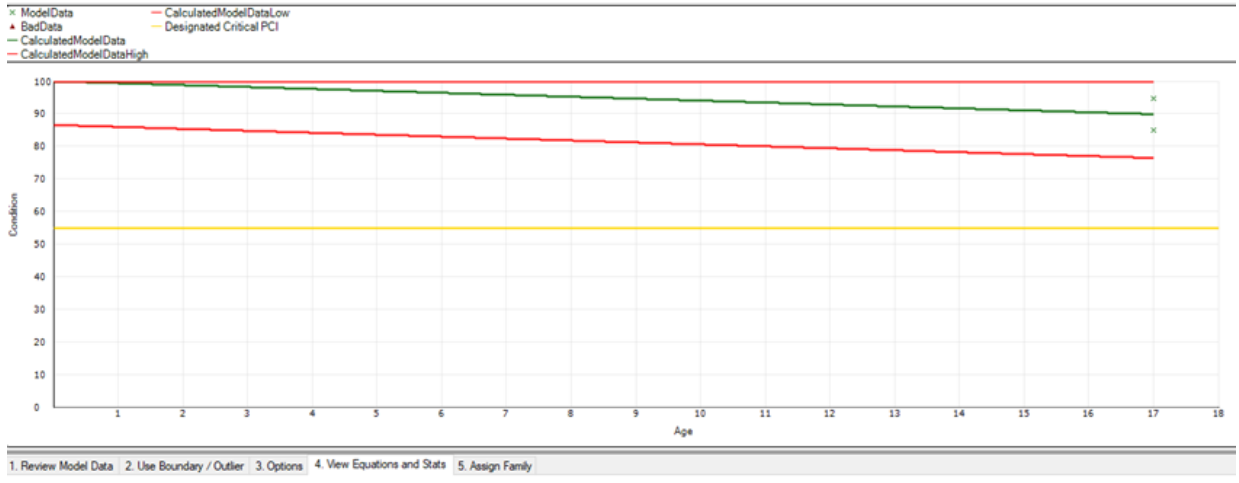


Figura 48 Sección plataforma de hormigón

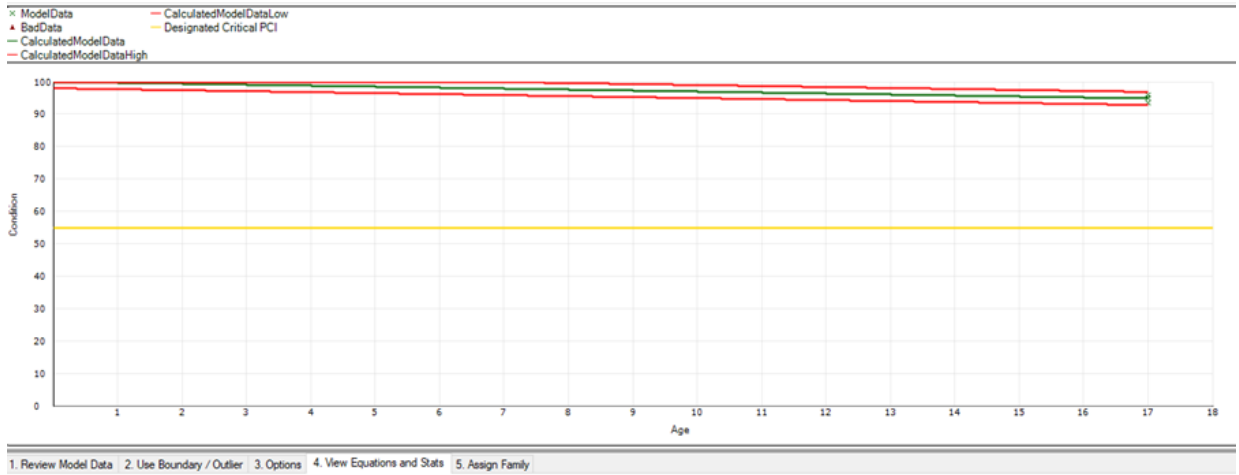
11.6.4 Aeródromo Desierto de Atacama



100 - 0.596986711025238 X¹ PCI Pts

Coeff of correlation 0.829
Approximate R² 0.687

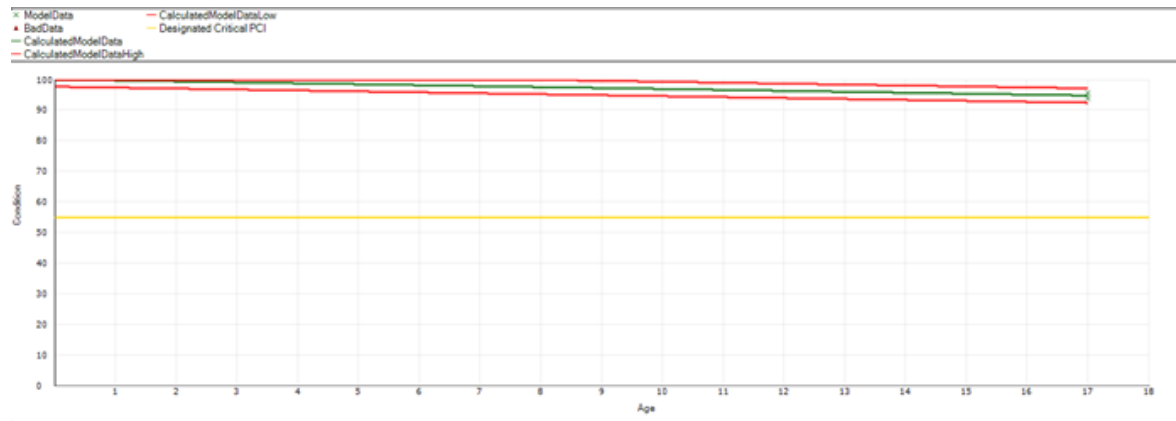
Figura 49 Sección pista



100 - 0.303884834051132 X¹ PCI Pts

Coeff of correlation 0.963
Approximate R² 0.927

Figura 50 Sección rodaje



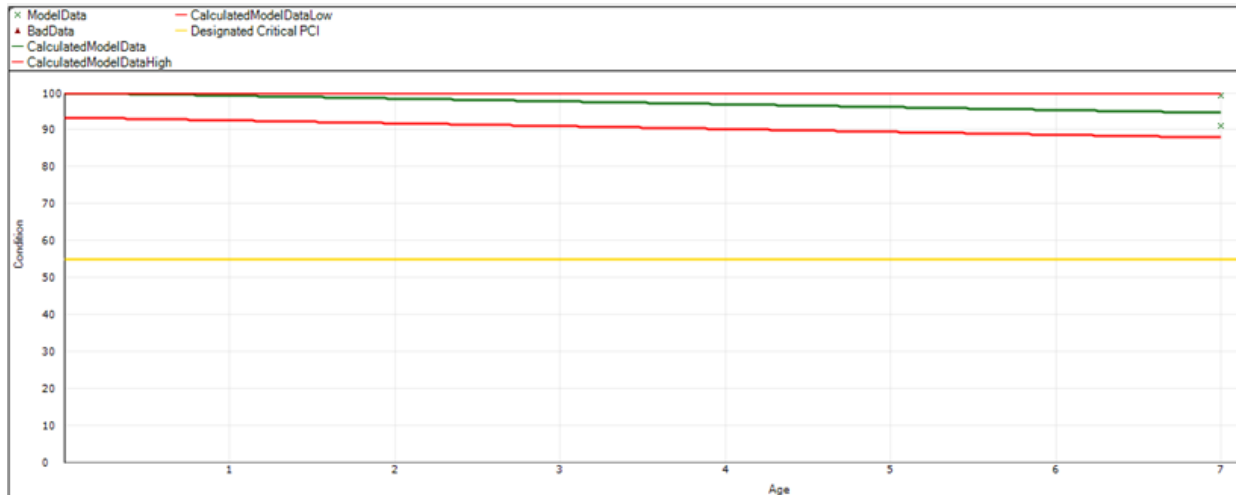
1. Review Model Data 2. Use Boundary / Outlier 3. Options 4. View Equations and Stats 5. Assign Family

100 - 0.308786183595657 X¹ PCI Pts

Coeff of correlation 0.975
 Approximate R² 0.95

Figura 51 Sección plataforma de asfalto

11.6.5 Aeródromo La Araucanía



1. Review Model Data 2. Use Boundary / Outlier 3. Options 4. View Equations and Stats 5. Assign Family

100 - 0.777066826820374 X¹ PCI Pts

Coeff of correlation 0.689
 Approximate R² 0.474

Figura 52 Sección pistas

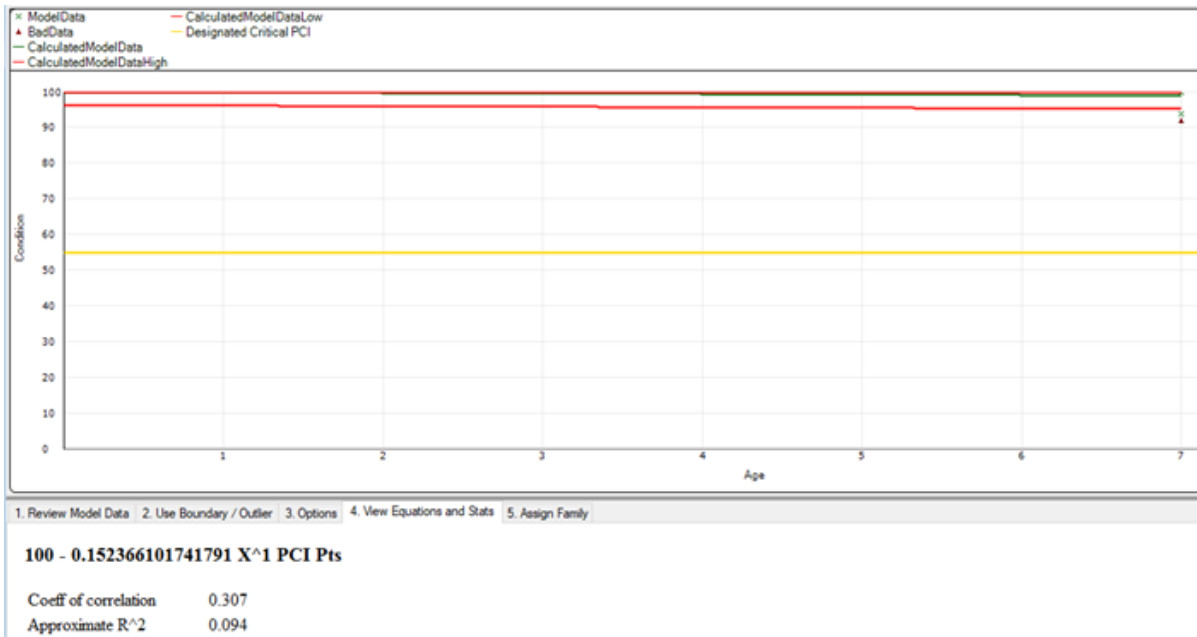


Figura 53 Sección rodaje

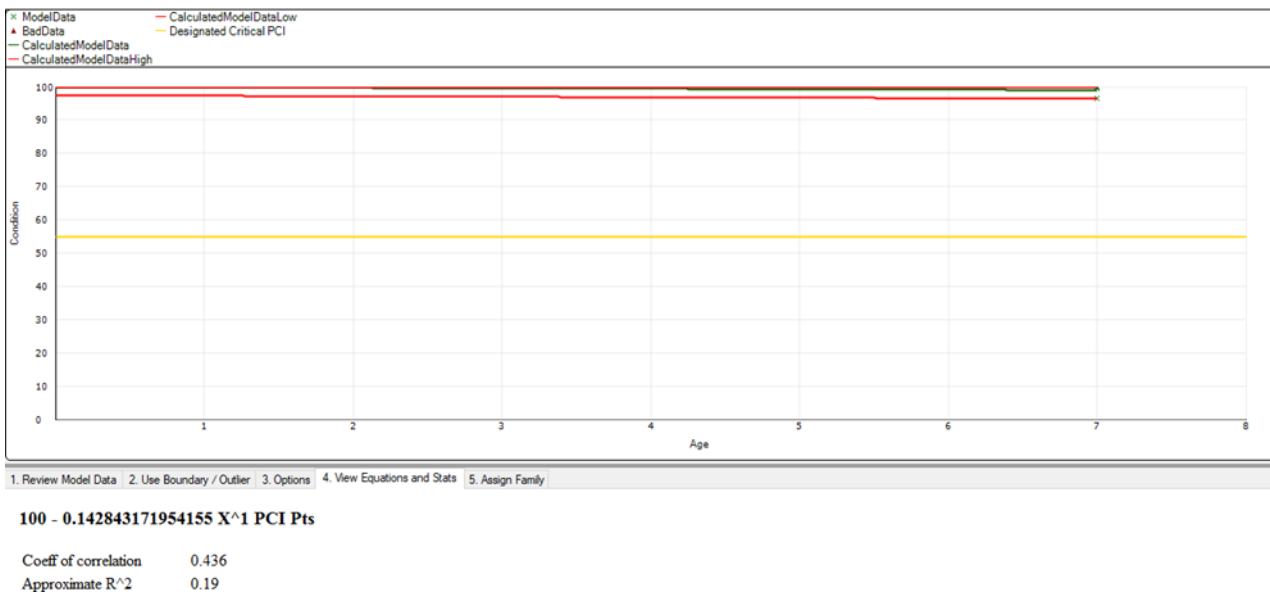


Figura 54 Sección plataforma

11.6.6 Aeródromo Cañal Bajo Carlos Hott Siebert

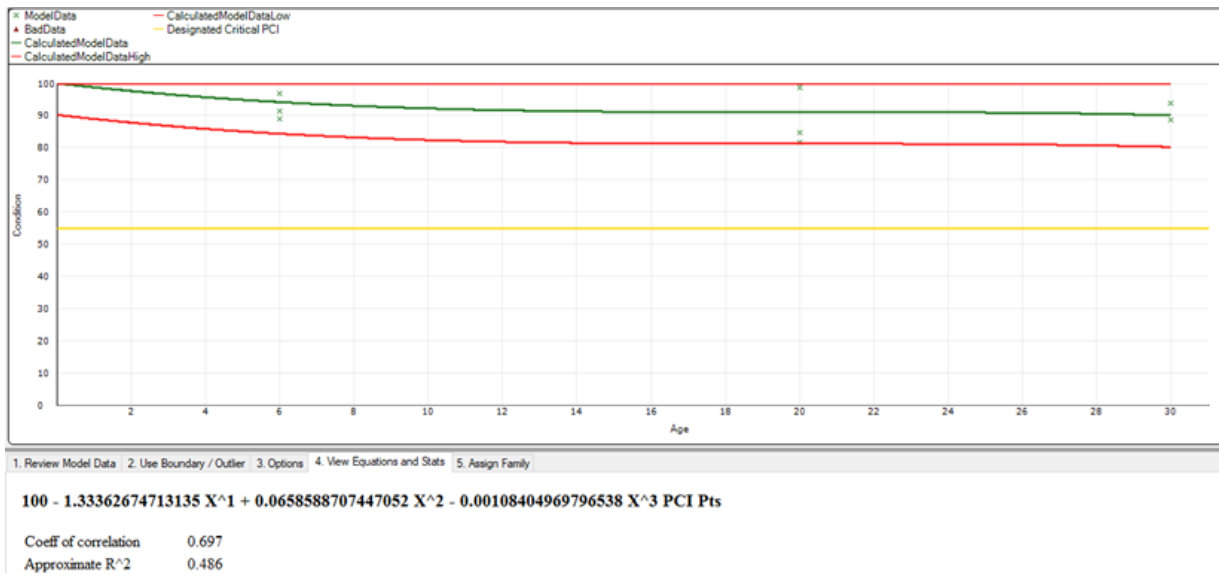


Figura 55 Sección pista

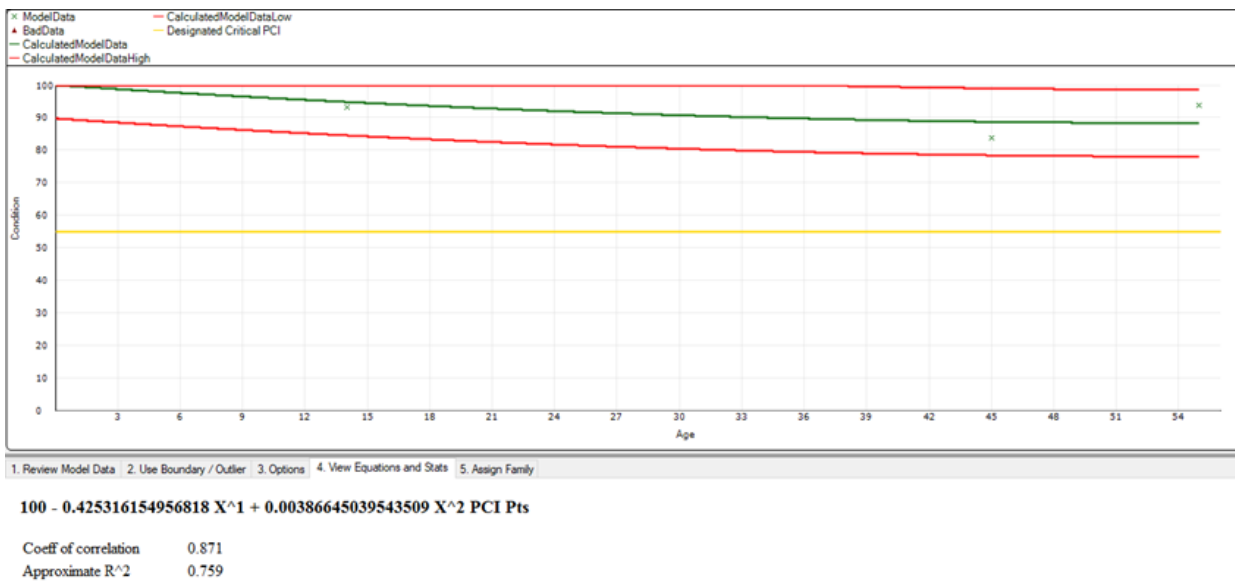
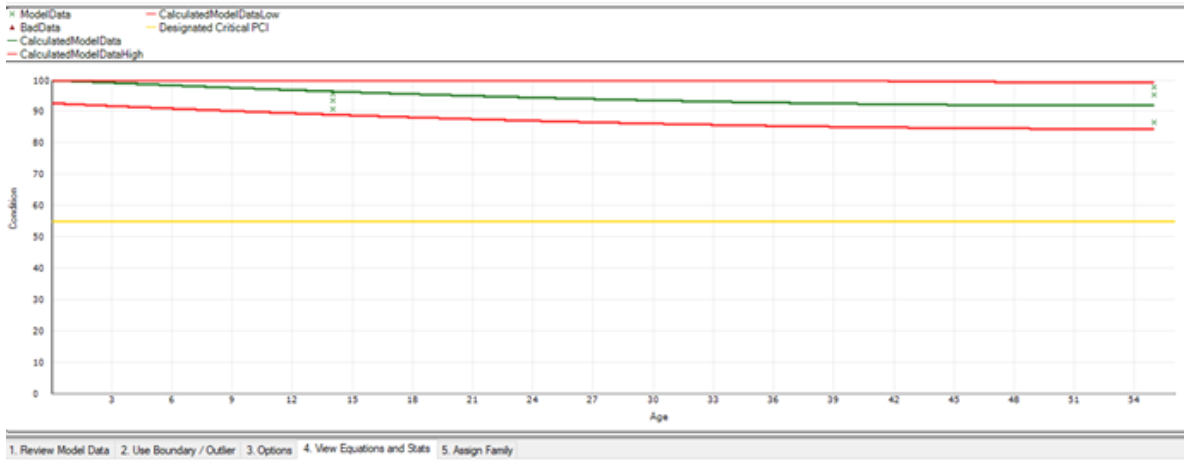


Figura 56 Sección rodaje

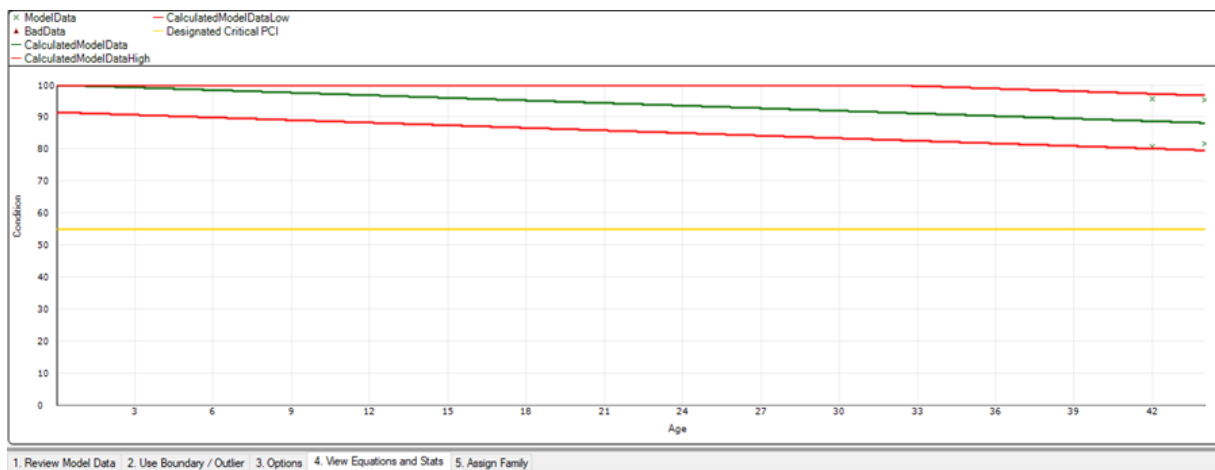


$$100 - 0.29791828989826 X^1 + 0.00270832167007029 X^2 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.699
 Approximate R^2 0.488

Figura 57 Sección plataformas

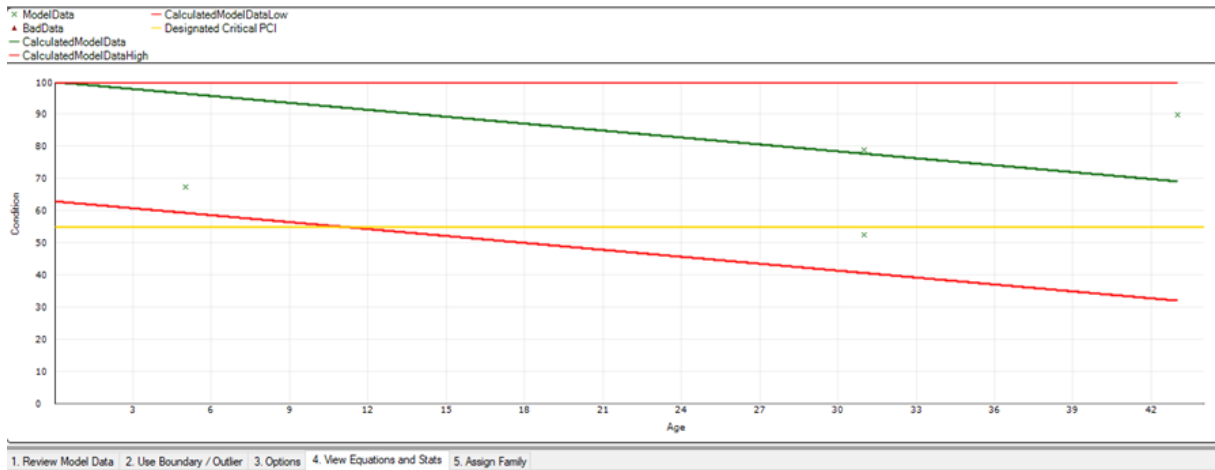
11.6.7 Aeropuerto El Tepual



$$100 - 0.270445942878723 X^1 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.795
 Approximate R^2 0.631

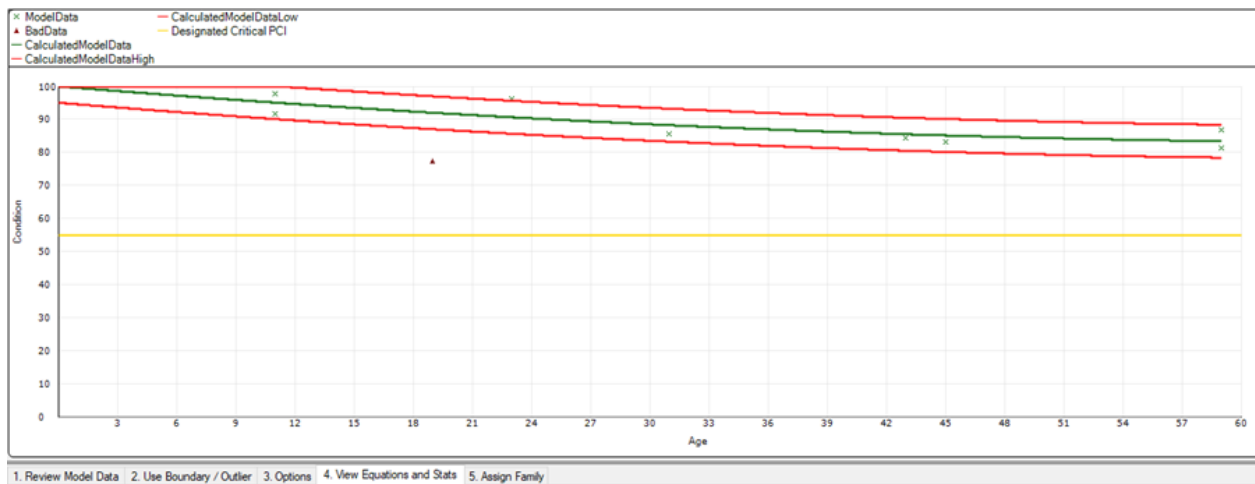
Figura 58 Sección pista



100 - 0.719336926937103 X¹ PCI Pts

Coeff of correlation 0.692
Approximate R² 0.479

Figura 59 Sección rodaje



100 - 0.488657981157303 X¹ + 0.00350425182841718 X² PCI Pts

Coeff of correlation 0.964
Approximate R² 0.93

Figura 60 Sección plataforma

11.6.8 Aeródromo Mocopulli

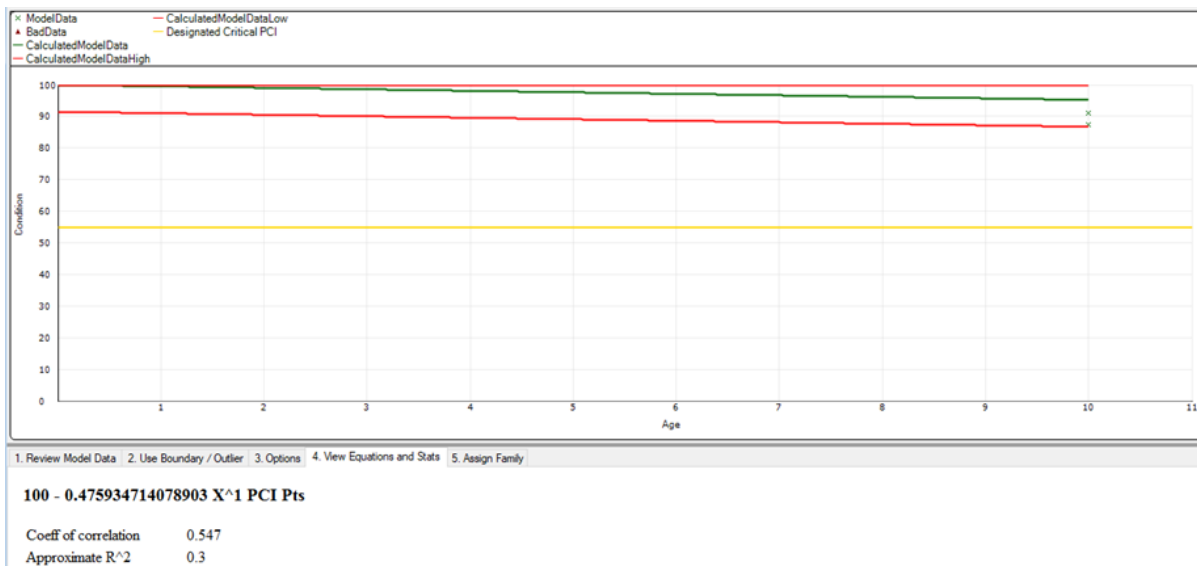


Figura 61 Sección pistas

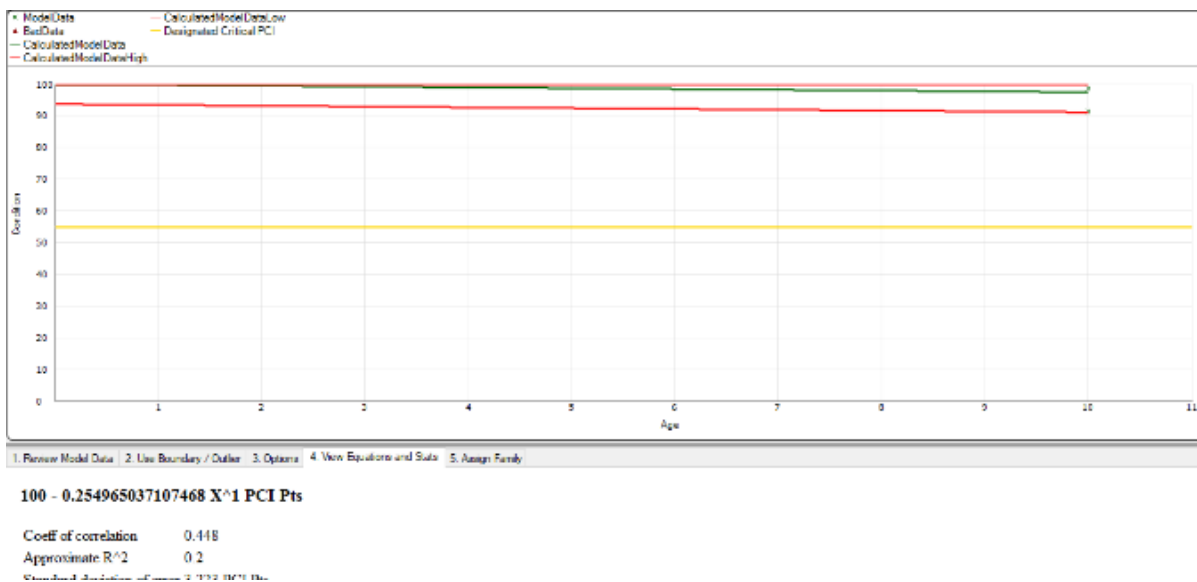


Figura 62 Sección rodaje

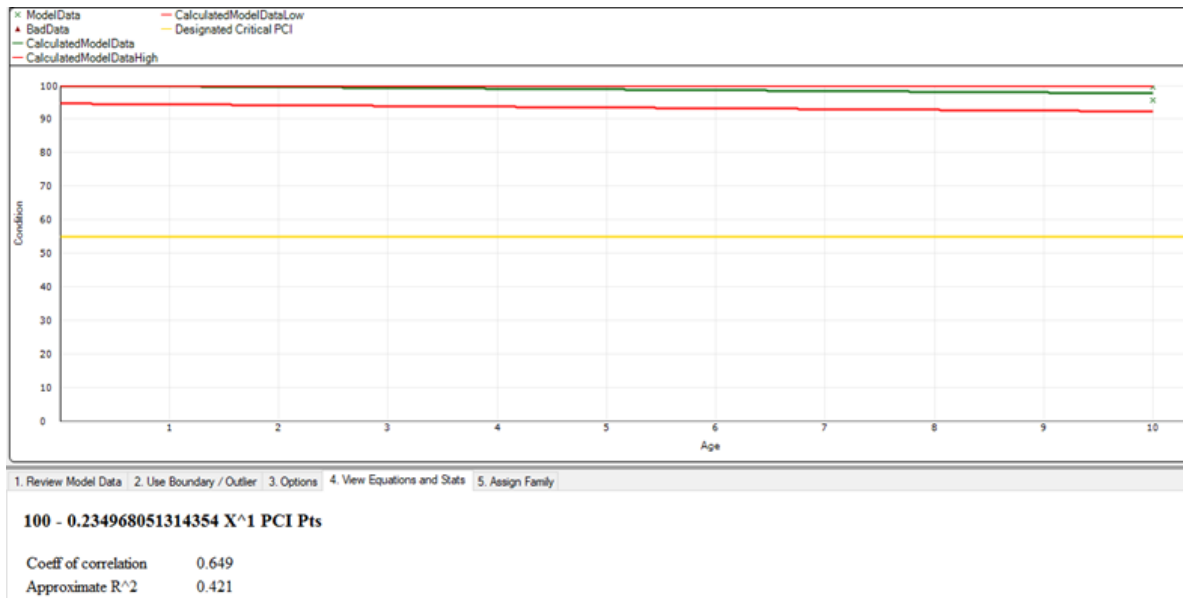
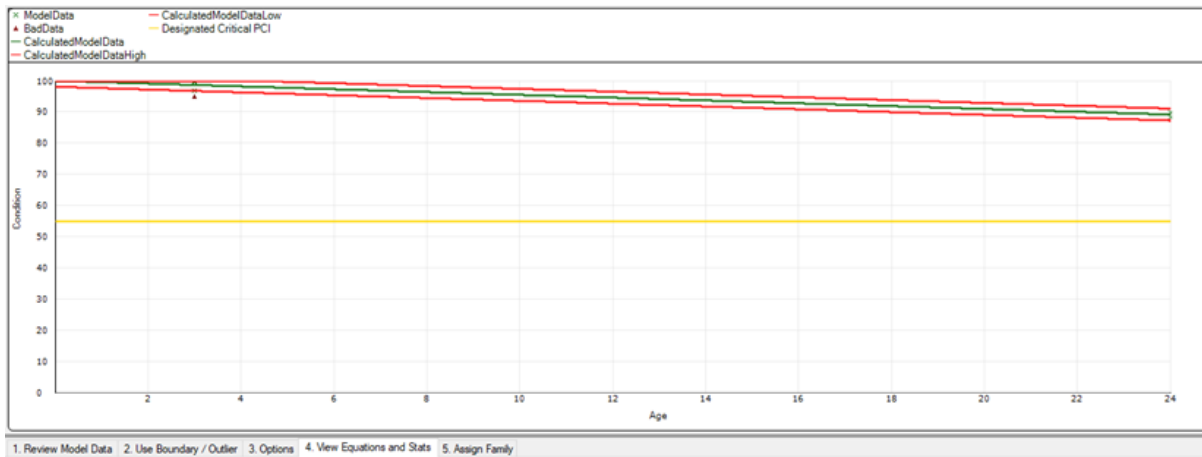


Figura 63 Sección plataforma

11.6.9 Aeródromo Balmaceda



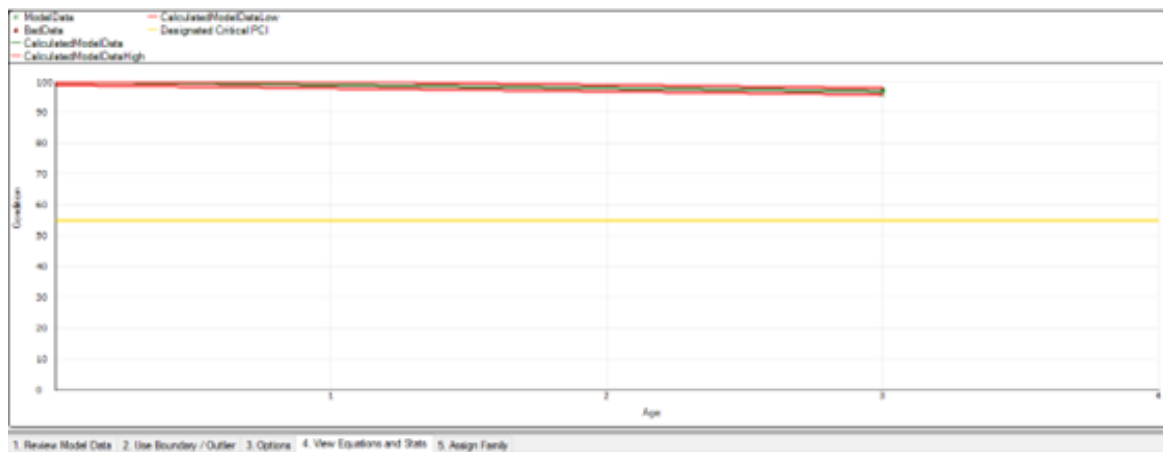
Figura 64 Sección pista



100 - 0.452016055583954 X^1 PCI Pts

Coeff of correlation 0.979
 Approximate R^2 0.959

Figura 65 Sección rodaje de asfalto



100 - 1.03309774398804 X^1 PCI Pts

Coeff of correlation 0.964
 Approximate R^2 0.929

Figura 66 Sección rodaje de hormigón

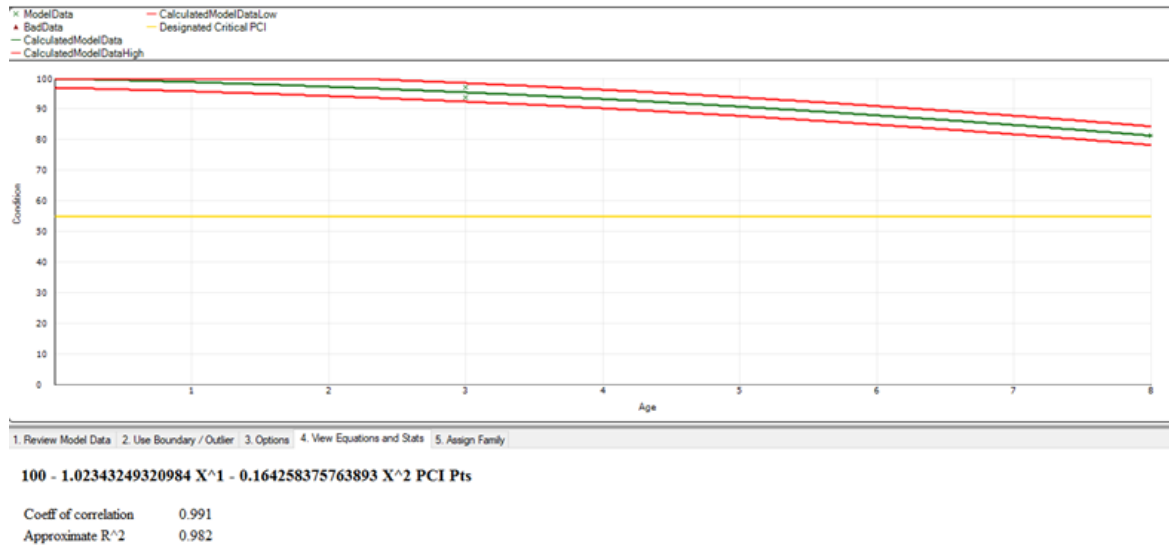


Figura 67 Sección plataforma de hormigón

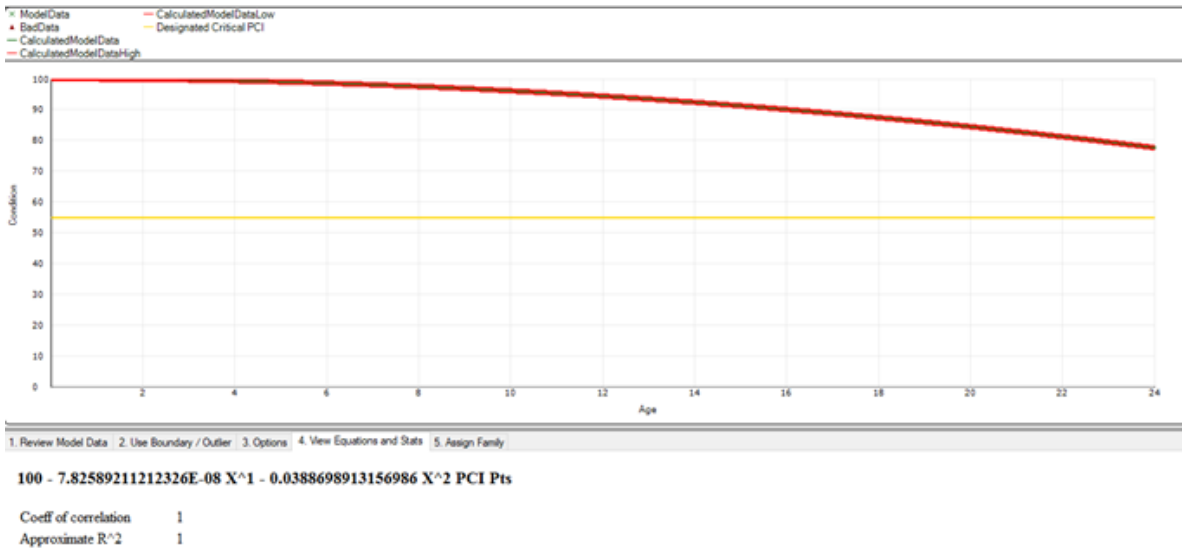


Figura 68 Sección plataforma de asfalto

11.6.10 Aeródromo Teniente Julio Gallardo

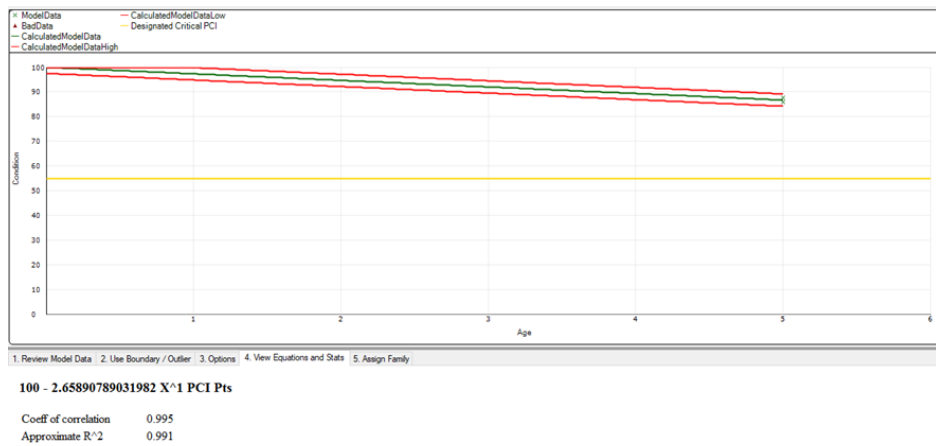
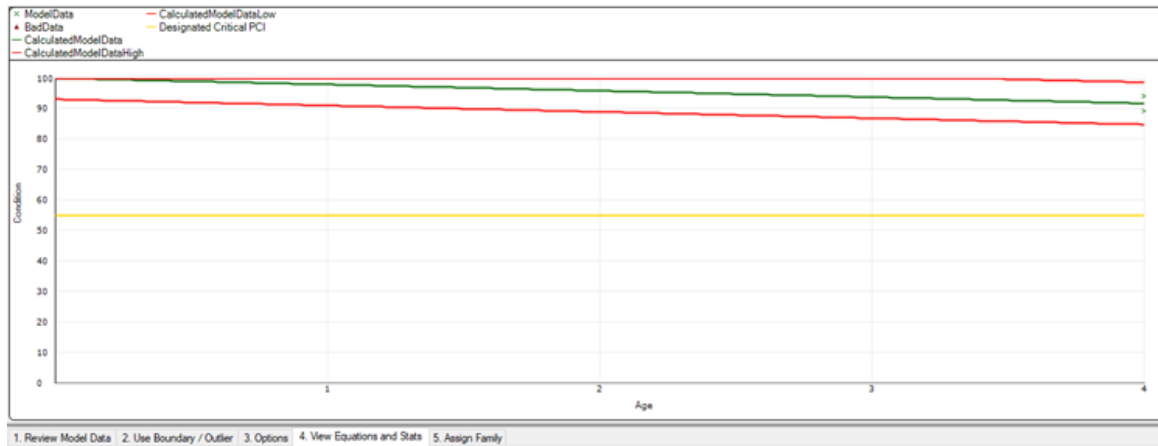


Figura 69 Sección pista

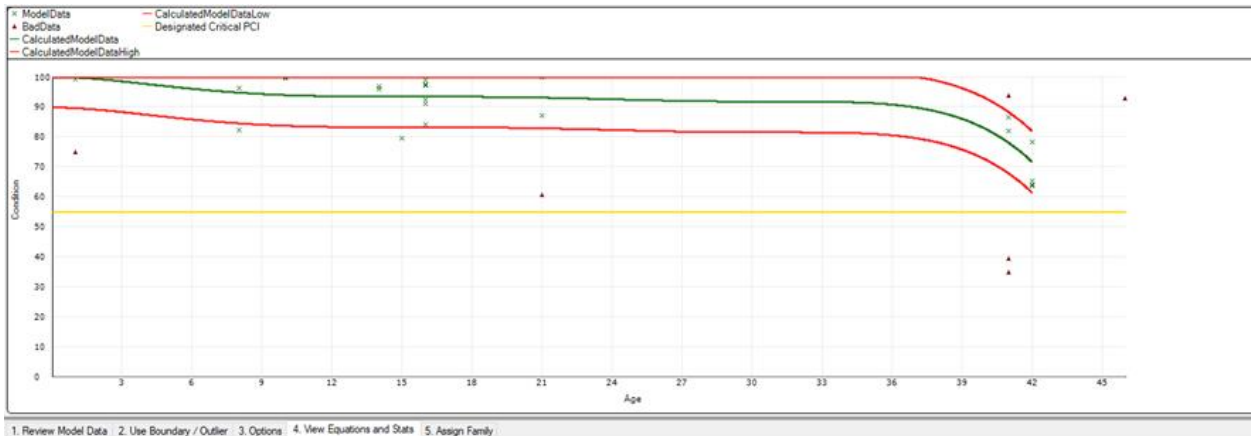


$$100 - 2.07500076293945 X^1 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.92
 Approximate R² 0.846

Figura 70 Sección plataforma

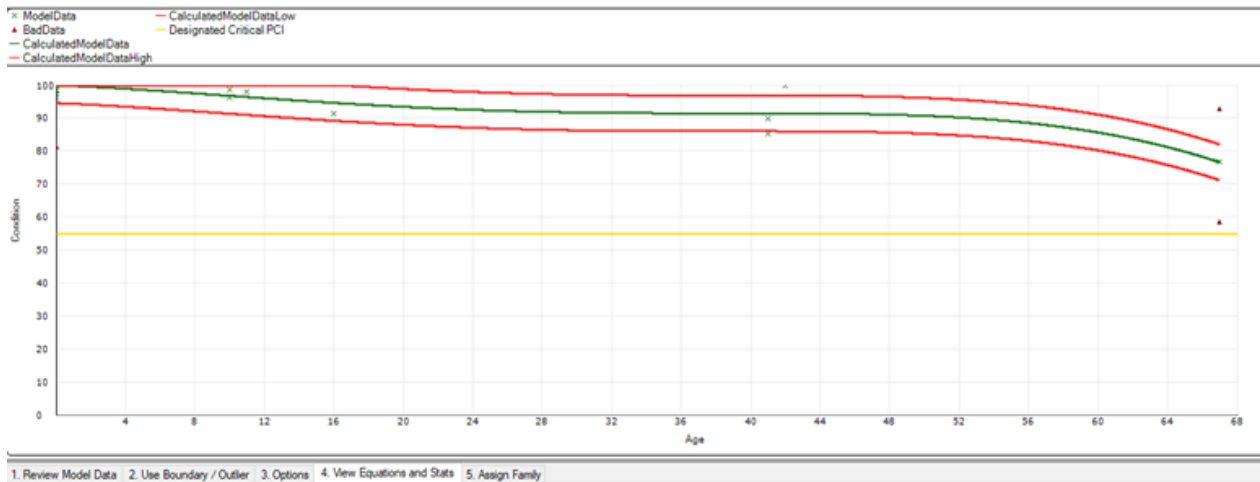
11.6.11 Aeropuerto Carlos Ibáñez del Campo



$$100 + 8.83454686118057E-06 X^1 - 0.254030525684357 X^2 + 0.0327069573104382 X^3 - 0.00170884467661381 X^4 + 4.05164064432029E-05 X^5 - 3.60942976840306E-07 X^6$$

Coeff of correlation 0.882
 Approximate R² 0.778

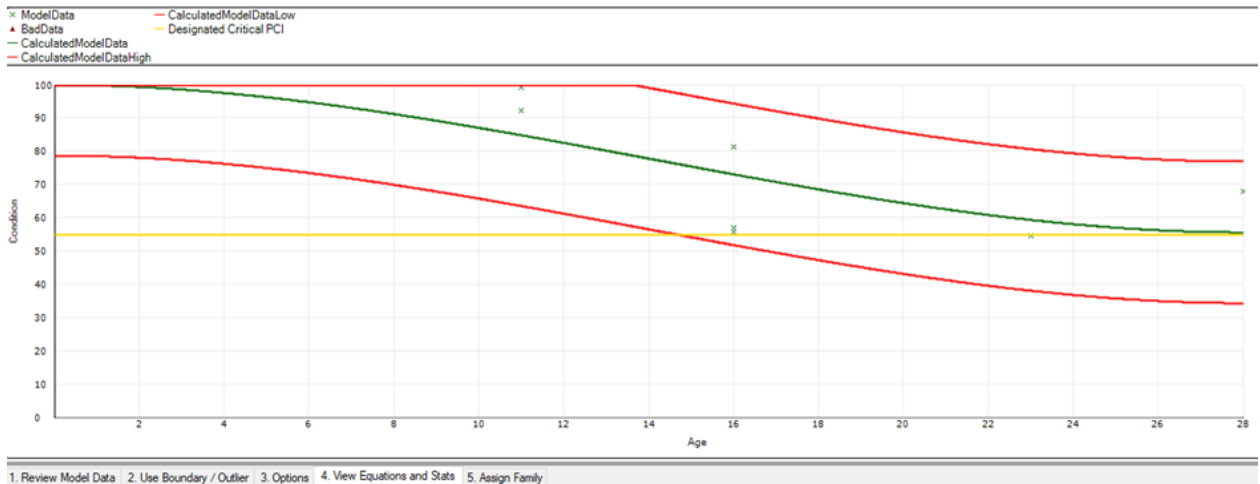
Figura 71 Sección pista de asfalto



$$100 - 0.218111425638199 X^1 - 0.0172843560576439 X^2 + 0.000740429037250578 X^3 - 7.63817843107972E-06 X^4 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.898
 Approximate R^2 0.807

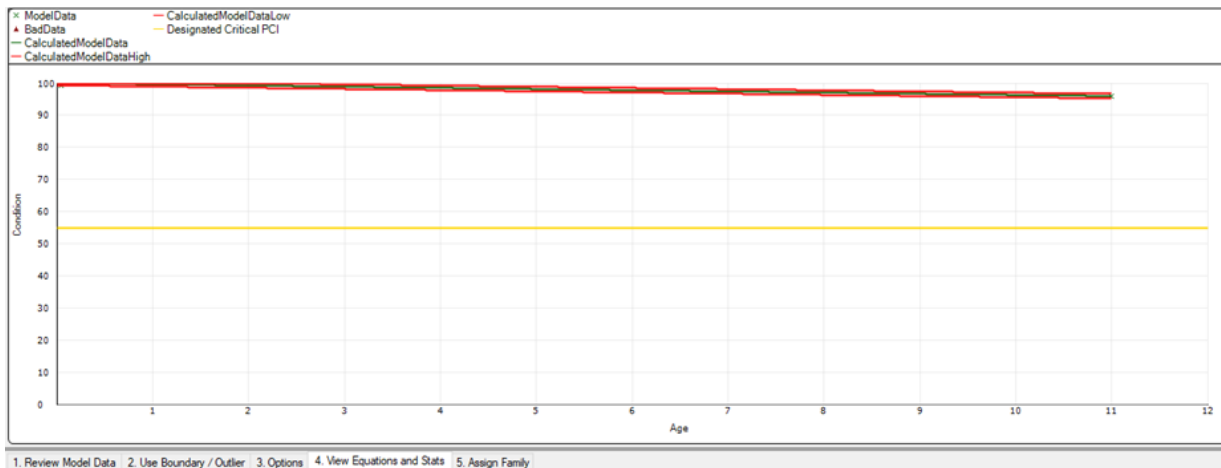
Figura 72 Sección pista de hormigón



$$100 - 0.000296323152724653 X^1 - 0.169832915067673 X^2 + 0.00404359819367528 X^3 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.882
 Approximate R^2 0.778

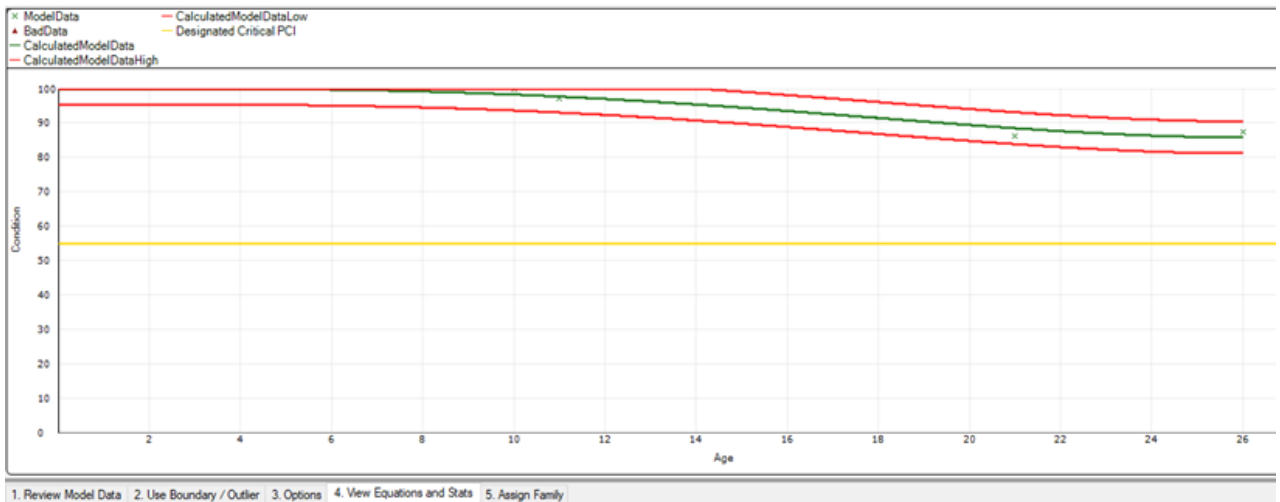
Figura 73 Sección rodaje de asfalto



100 - 0.368282586336136 X^1 PCI Pts

Coeff of correlation 0.991
 Approximate R^2 0.983

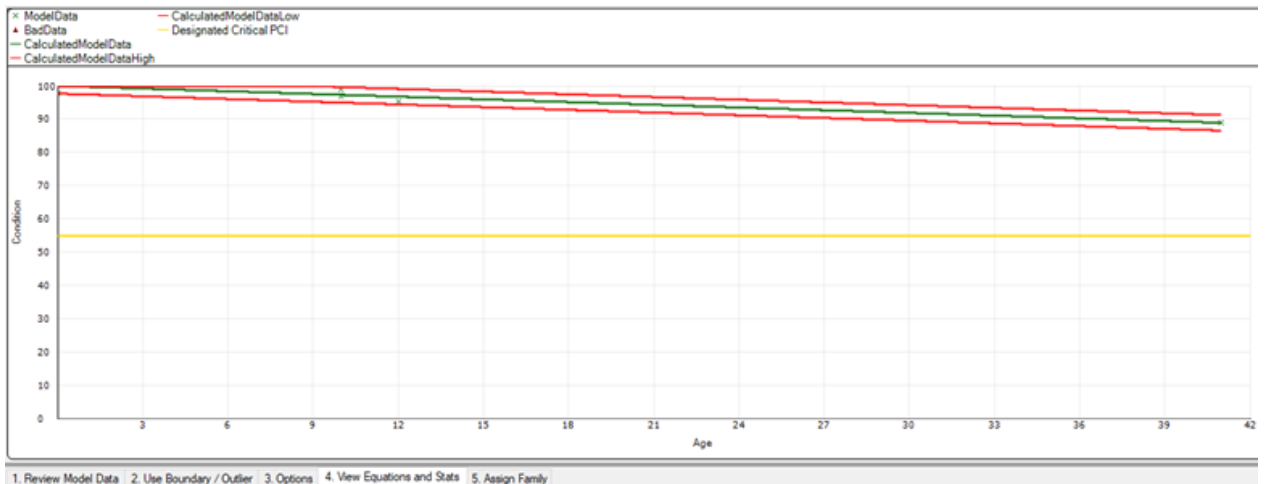
Figura 74 Sección rodaje de hormigón



100 - 0.0303046032786369 X^1 + 0.0199735220521688 X^2 - 0.00463318033143878 X^3 + 0.000119301657832693 X^4 PCI Pts

Coeff of correlation 0.977
 Approximate R^2 0.955

Figura 75 Sección plataforma de asfalto

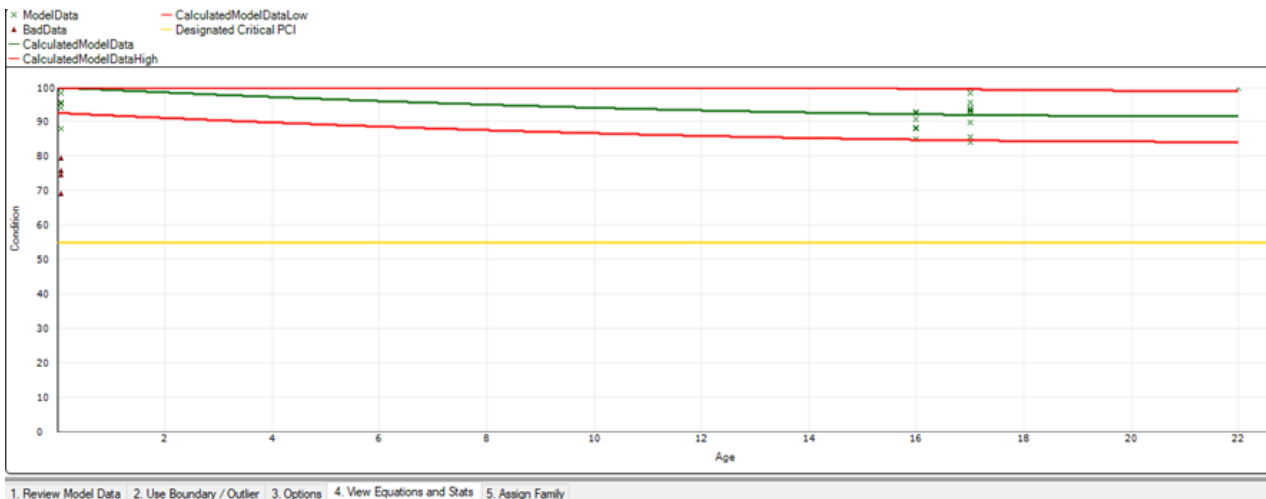


100 - 0.27132984995842 X¹ PCI Pts

Coeff of correlation 0.956
 Approximate R² 0.914

Figura 76 Sección plataforma de hormigón

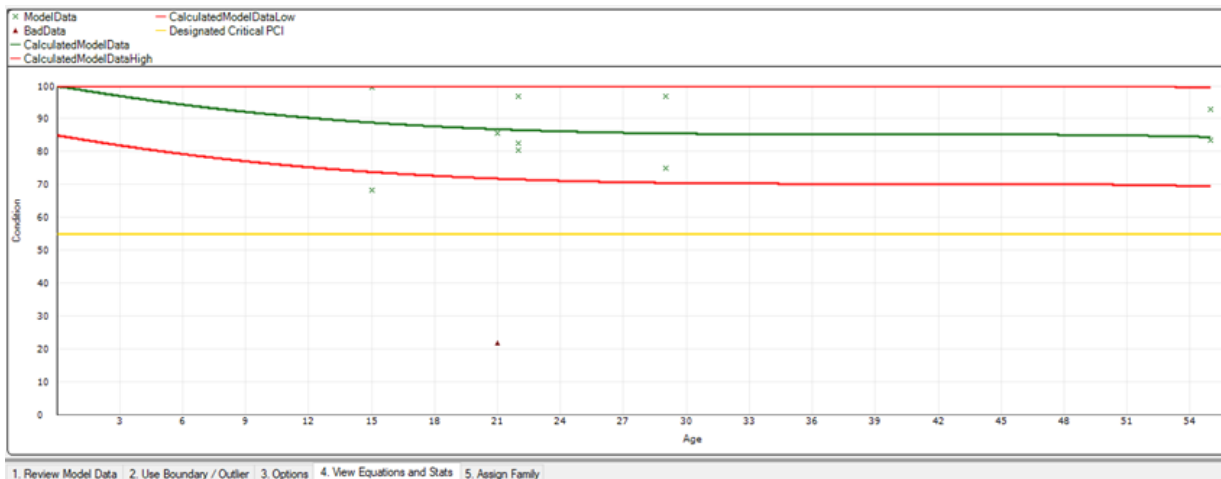
11.6.12 Aeropuerto Arturo Merino Benítez



100 - 0.766038417816162 X¹ + 0.0174088459461927 X² PCI Pts

Coeff of correlation 0.69
 Approximate R² 0.476

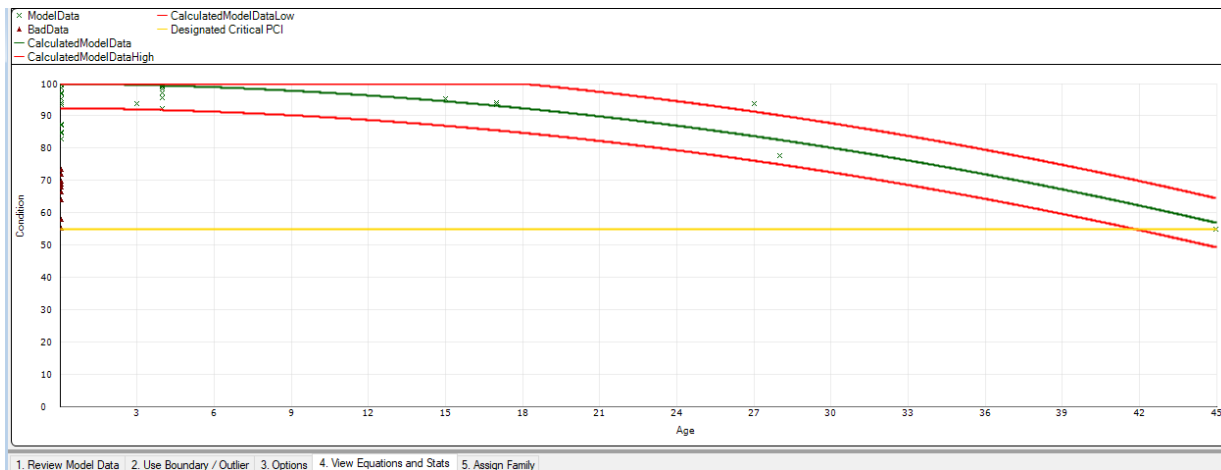
Figura 77 Sección pista de asfalto



$$100 - 1.11221623420715 X^1 + 0.0278932917863131 X^2 - 0.000233168233535253 X^3 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.723
 Approximate R² 0.523

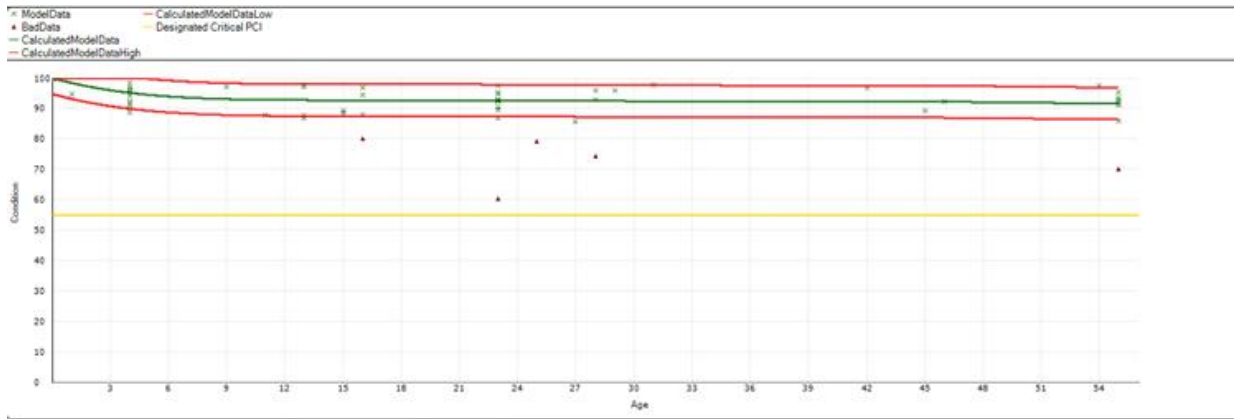
Figura 78 Sección pista de hormigón



$$100 - 0.070066936314106 X^1 - 0.0197613034397364 X^2 \text{ PCI Pts}$$

Coeff of correlation 0.791
 Approximate R² 0.625

Figura 79 Sección rodaje de asfalto

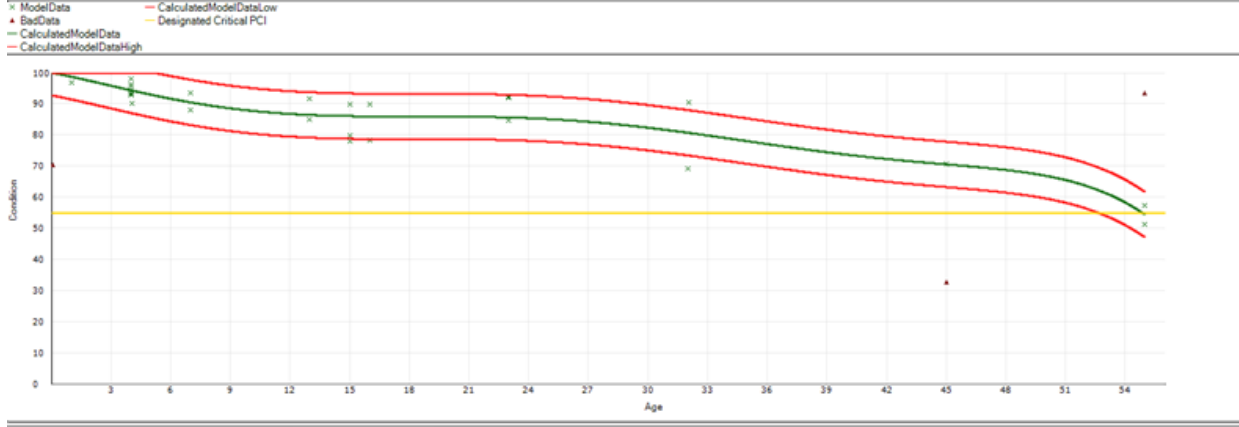


1. Review Model Data | 2. Use Boundary / Outlier | 3. Options | 4. View Equations and Stats | 5. Assign Family

$100 - 1.7984824180603 X^1 + 0.174954935908318 X^2 - 0.00854606181383133 X^3 + 0.000220054658711888 X^4 - 2.84975635622686E-06 X^5 + 1.4586782448589E-08 X^6$

Coeff of correlation 0.802
 Approximate R² 0.644

Figura 80 Sección rodaje de hormigón



1. Review Model Data | 2. Use Boundary / Outlier | 3. Options | 4. View Equations and Stats | 5. Assign Family

$100 - 1.20424342155457 X^1 - 0.110743880271912 X^2 + 0.0172939505428076 X^3 - 0.000770956045016646 X^4 + 1.41463842737721E-05 X^5 - 9.34463884050274E-08 X^6$

Coeff of correlation 0.95
 Approximate R² 0.902

Figura 81 Sección plataforma