



**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN DE AEROPUERTOS  
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS**

**DIAGNÓSTICO AUSCULTACIÓN DE PAVIMENTOS  
AEROPORTUARIOS DE LA RED PRIMARIA ZONA NORTE**

**AEROPUERTO DESIERTO DE ATACAMA DE COPIAPÓ  
INFORME FINAL**

**REVISIÓN 0**

**AZN20-AT-IF-IN-02**

Revisión	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó
A	AGO-21	LCF	MRV	MFC
B	SEP-21	LCF	MRV	MFC
C	SEP-21	MRV	MRV	MFC
0	OCT-21	MRV	MRV	MFC

<b>Firma Inspector Fiscal</b> José Mauricio Ortiz Orden	<b>Firma Jefe Depto de Construcción</b> José Tramón Cárdenas	<b>Firma Jefe de Proyecto FAIC</b> Marcelo Ferrer Corrales



## ÍNDICE

A. INTRODUCCIÓN.....	18
B. NORMATIVA.....	18
C. DESCRIPCIÓN DEL AEROPUERTO DESIERTO DE ATACAMA .....	19
D. ETAPAS Y SUBETAPAS.....	19
1 PLAN PILOTO Y METODOLOGÍA.....	20
1.1 CANCHA DE PRUEBA.....	20
1.1.1 INTRODUCCIÓN.....	20
1.1.2 DEFINICIÓN DE LA RED PAVIMENTADA METODOLOGÍA PCI.....	20
1.1.2.1 División de las zonas a evaluar.....	20
1.1.2.2 Índice PCI.....	20
1.1.3 CANCHA DE PRUEBA PAVIMENTO DE HORMIGÓN.....	21
1.1.3.1 Sección a evaluar.....	21
1.1.3.2 Vuelo fotogramétrico sistemas aéreos no tripulados (RPAS).....	22
1.1.3.2.1 Equipo DJI Phantom 4 Pro.....	22
1.1.3.2.2 Plan de Vuelo.....	23
1.1.3.2.3 Toma Fotográfica y Proceso Fotogramétrico.....	24
1.1.3.2.4 Ortomosaico.....	26
1.1.3.3 Medición de la condición del pavimento.....	26
1.1.3.3.1 Software Micro Paver.....	27
1.1.3.4 Resultados obtenidos.....	28
1.1.4 CANCHA DE PRUEBA PAVIMENTO DE ASFALTO.....	29
1.1.4.1 Sección a evaluar.....	29
1.1.4.2 Levantamiento pavimento de asfalto.....	30
1.1.4.2.1 Equipo Laser Crack Measurement System (LCMS).....	30
1.1.4.2.2 Cámara de Video.....	31
1.1.4.2.3 Toma de Datos.....	31
1.1.4.3 Medición de la condición del pavimento.....	35
1.1.4.3.1 Consideraciones Particulares Cancha de Prueba.....	35
1.1.4.4 Resultados obtenidos.....	36
1.2 METODOLOGÍA Y POLÍTICA DE CONSERVACIÓN.....	38
1.2.1 INTRODUCCIÓN.....	38
1.2.2 METODOLOGÍA Y POLÍTICA DE CONSERVACIÓN.....	38
1.2.2.1 Predicción del comportamiento futuro del pavimento.....	38
1.2.2.1.1 Análisis de Modelos.....	38
1.2.2.1.1.1 Codificación de entrada.....	38
1.2.2.1.1.2 Recopilación de datos.....	39
1.2.2.1.2 Familias.....	39
1.2.2.2 Criterios y políticas de conservación.....	41
1.2.2.2.1 Conservación Rutinaria.....	42



1.2.2.2.1.1	Localizado de emergencia .....	42
1.2.2.2.1.2	Localizado preventivo .....	44
1.2.2.2.2	Conservación Global Preventiva .....	45
1.2.2.2.2.1	Conservación en base a diagnóstico PCI.....	45
1.2.2.2.2.2	Conservación en base a diagnóstico de fricción.....	47
1.2.2.2.3	Conservación Mayor .....	48
1.2.2.3	<i>Auscultaciones para inspección de pavimentos y periodicidad de repetición .....</i>	<i>50</i>
1.2.2.3.1	Auscultaciones Superficiales .....	50
1.2.2.3.1.1	Método Pavement Condition Index (PCI) .....	50
1.2.2.3.1.2	Ensayos para determinar coeficiente de rozamiento .....	51
1.2.2.3.2	Auscultaciones Estructurales .....	52
1.2.2.3.2.1	Ensayos de deflectometría .....	53
1.2.2.3.2.2	Ensayos para medición de perfil longitudinal.....	53
1.2.2.3.2.3	Ensayos con georadar .....	54
1.2.2.3.2.4	Resumen .....	55
1.2.2.4	<i>Metodología de conservación en forma sistémica.....</i>	<i>55</i>
1.2.2.4.1	Procedimiento del Sistema de Gestión.....	55
1.2.2.5	<i>Método de programa de inversión.....</i>	<i>56</i>
1.2.2.5.1	Conservación Rutinaria.....	56
1.2.2.5.2	Conservación Mayor .....	57
<b>2</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA HORIZONTAL.....</b>	<b>57</b>
<b>2.1</b>	<b>RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES .....</b>	<b>57</b>
<b>2.1.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>57</b>
2.1.1.1	<i>Alcance del informe .....</i>	<i>57</i>
<b>2.1.2</b>	<b>PROYECTOS Y ESTUDIOS DESARROLLADOS.....</b>	<b>57</b>
<b>2.1.3</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MOVIMIENTO .....</b>	<b>58</b>
2.1.3.1	<i>Características generales.....</i>	<i>58</i>
2.1.3.2	<i>Características físicas estructurales.....</i>	<i>59</i>
<b>2.1.4</b>	<b>TRÁFICO FLOTA COMERCIAL Y GENERAL ACTUAL.....</b>	<b>60</b>
2.1.4.1	<i>Consideraciones especiales .....</i>	<i>60</i>
2.1.4.2	<i>Operaciones históricas período 2009 – 2020 .....</i>	<i>61</i>
<b>2.2</b>	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LABORATORIO .....</b>	<b>62</b>
<b>2.2.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>62</b>
2.2.1.1	<i>Objetivos y alcances del estudio.....</i>	<i>62</i>
2.2.1.2	<i>Características del proyecto .....</i>	<i>63</i>
2.2.1.3	<i>Marco de referencia.....</i>	<i>63</i>
2.2.1.4	<i>Plano de ubicación de calicata .....</i>	<i>63</i>
<b>2.2.2</b>	<b>ALCANCE .....</b>	<b>64</b>
2.2.2.1	<i>Exploración geotécnica de suelos.....</i>	<i>64</i>
2.2.2.2	<i>Estratigrafía .....</i>	<i>64</i>



2.2.2.3	Modelo estratigráfico .....	67
2.2.2.4	Curvas granulométricas.....	68
2.2.2.5	Límites de Atterberg y otros ensayos.....	70
2.2.2.6	Situación del nivel freático.....	70
2.2.2.7	Perfil estratigráfico .....	71
2.2.2.8	Ensayo de laboratorio realizados.....	72
<b>2.2.3</b>	<b>PROPIEDADES DEL DISEÑO .....</b>	<b>72</b>
2.2.3.1	Parámetros para el diseño estructural de pavimentos.....	72
<b>2.2.4</b>	<b>TRATAMIENTO PARA SUELOS SALINOS.....</b>	<b>73</b>
<b>2.2.5</b>	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES.....</b>	<b>73</b>
2.2.5.1	Especificaciones técnicas para la construcción de pavimentos.....	73
2.2.5.2	Especificaciones técnicas para rellenos.....	74
2.2.5.2.1	Rellenos Estructurales .....	74
2.2.5.3	Recepción sellos de pavimentos.....	75
2.2.5.4	Limitaciones de este estudio .....	75
<b>2.2.6</b>	<b>ANEXO N°1: REGISTRO FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>76</b>
<b>3</b>	<b>EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LOS PAVIMENTOS.....</b>	<b>86</b>
<b>3.1</b>	<b>CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL LUGAR.....</b>	<b>86</b>
<b>3.1.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>86</b>
3.1.1.1	Descripción específica (del área de movimiento).....	86
<b>3.1.2</b>	<b>ALCANCE .....</b>	<b>86</b>
<b>3.1.3</b>	<b>ANTECEDENTES TENIDOS A LA VISTA .....</b>	<b>86</b>
<b>3.1.4</b>	<b>METEOROLOGÍA .....</b>	<b>86</b>
3.1.4.1.1	Características climáticas del lugar.....	86
3.1.4.2	Datos recolectados para las variables Meteorológicas .....	87
3.1.4.2.1	Precipitación.....	88
3.1.4.2.2	Temperatura .....	89
3.1.4.2.3	Radiación Solar.....	92
3.1.4.3	Análisis Multidimensional de los datos recolectados.....	93
3.1.4.3.1	Análisis respecto a la Precipitación.....	93
3.1.4.3.2	Análisis respecto a la Temperatura.....	94
<b>3.1.5</b>	<b>ANÁLISIS RESPECTO A LA RADIACIÓN SOLAR.....</b>	<b>97</b>
<b>3.1.6</b>	<b>INFLUENCIA DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS EN LOS PAVIMENTOS.....</b>	<b>98</b>
<b>3.2</b>	<b>PROYECCIÓN DE TRÁNSITO AÉREO.....</b>	<b>98</b>
<b>3.2.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>98</b>
3.2.1.1	Generalidades .....	98
3.2.1.2	Resumen ejecutivo .....	98
3.2.1.2.1	Proyección De Pasajeros.....	98
<b>3.2.2</b>	<b>PROYECCIÓN DE FLOTA COMERCIAL Y OPERACIONES .....</b>	<b>100</b>
<b>3.2.3</b>	<b>ESTUDIO DE DEMANDA .....</b>	<b>103</b>



3.2.3.1	Revisión metodológica.....	104
3.2.3.2	Selección de variables.....	106
3.2.3.2.1	Actividad Económica.....	106
3.2.3.2.2	Precio del Petróleo .....	107
3.2.3.2.3	Tarifas Aéreas.....	107
<b>3.2.4</b>	<b>SERIES DE DATOS A UTILIZAR.....</b>	<b>109</b>
3.2.4.1	Formulación del modelo.....	111
3.2.4.1.1	Análisis de Variables .....	112
3.2.4.1.2	Actividad Económica.....	112
3.2.4.1.3	Variables del Mercado Laboral.....	114
3.2.4.1.4	Precio Real del Cobre.....	115
3.2.4.1.5	Precio del Petróleo .....	116
3.2.4.1.6	Índice Real de Tarifas Aéreas .....	117
3.2.4.1.7	Variable Dependiente pasajeros totales transportados en Atacama .....	118
3.2.4.2	Selección del modelo y proyecciones .....	119
3.2.4.2.1	Criterios Generales de Formulación y Validación del Modelo .....	119
3.2.4.2.2	Formulación y Validación del Modelo .....	120
3.2.4.3	Proyecciones de demanda.....	123
3.2.4.3.1	Proyección de la Actividad Internacional .....	127
<b>3.2.5</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE OPERACIONES AERONÁUTICAS.....</b>	<b>127</b>
3.2.5.1	Generalidades .....	127
3.2.5.2	Operaciones comerciales.....	128
3.2.5.3	Operaciones de carga .....	129
3.2.5.4	Operaciones militares.....	129
3.2.5.5	Otras operaciones.....	130
3.2.5.6	Análisis histórico de operaciones .....	130
3.2.5.7	Análisis histórico de rutas.....	131
<b>3.2.6</b>	<b>PROYECCIÓN DE OPERACIONES AERONÁUTICAS.....</b>	<b>131</b>
3.2.6.1	Aspectos generales .....	131
3.2.6.2	Proyección de operaciones comerciales de pasajeros .....	132
3.2.6.2.1	Demanda de Pasajeros .....	132
3.2.6.2.2	Proyecciones de Flota.....	132
3.2.6.2.3	Proyecciones Esperadas de Operaciones .....	134
3.2.6.2.4	Operaciones de Actividad Internacional.....	134
3.2.6.3	Estadísticas de movimiento de carga .....	135
3.2.6.4	Proyección general de operaciones.....	135
<b>3.2.7</b>	<b>COMPARACIÓN HISTÓRICA 2014 – 2018.....</b>	<b>136</b>
3.2.7.1	Recopilación de movimiento de aeronaves en el área de movimiento .....	136
3.2.7.2	Monografía de las 10 aeronaves más incidentes.....	137
3.2.7.3	Conclusiones de período 2014 – 2019 .....	137



<b>3.3</b>	<b>EVALUACIÓN FUNCIONAL DE LOS PAVIMENTOS EXISTENTES</b>	<b>139</b>
<b>3.3.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>139</b>
<b>3.3.2</b>	<b>MEDICIÓN DE LA FRICCIÓN</b>	<b>139</b>
3.3.2.1	<i>Medición de coeficiente de roce</i>	139
3.3.2.1.1	Medición a 3 metros	140
3.3.2.1.1.1	Coeficiente de roce de pista a velocidad de 65 Km/h	140
3.3.2.1.1.2	Promedio coeficiente de roce pista por tramo	141
3.3.2.1.2	Medición a 5 metros	141
3.3.2.1.2.1	Coeficiente de roce de pista a velocidad de 65 Km/h	141
3.3.2.1.2.2	Promedio coeficiente de roce pista por tramo	142
3.3.2.2	<i>Conclusiones</i>	143
<b>3.3.3</b>	<b>PERFILOMETRÍA</b>	<b>143</b>
3.3.3.1	<i>Mediciones en pista</i>	144
3.3.3.1.1	Regla (Straight Edge)	145
3.3.3.1.2	Índices de Boeing (Boeing Bump Index (BBI))	146
3.3.3.1.3	Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index (IRI))	146
3.3.3.1.4	Índice de Perfilógrafo de California (California Profilograph Index (PI))	147
3.3.3.1.5	RMS Bandpass Index	147
3.3.3.2	<i>Mediciones en rodaje Bravo</i>	148
3.3.3.2.1	Regla (Straight Edge)	148
3.3.3.2.2	Índice de Boeing (Boeing Bump Index (BBI))	148
3.3.3.2.3	Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index (IRI))	149
3.3.3.2.4	Índice de Perfilógrafo de California (California Profilograph Index (PI))	149
3.3.3.2.5	RMS Bandpass Index	149
3.3.3.3	<i>Mediciones en Rodaje Charlie</i>	149
3.3.3.3.1	Regla (Straight Edge)	150
3.3.3.3.2	Índice de Boeing (Boeing Bump Index (BBI))	150
3.3.3.3.3	Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index (IRI))	150
3.3.3.3.4	Índice de Perfilógrafo de California (California Profilograph Index (PI))	151
3.3.3.3.5	RMS Bandpass Index	151
3.3.3.4	<i>Mediciones en rodaje Delta</i>	151
3.3.3.4.1	Regla (Straight Edge)	152
3.3.3.4.2	Índice de Boeing (Boeing Bump Index (BBI))	152
3.3.3.4.3	Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index (IRI))	152
3.3.3.4.4	Índice de Perfilógrafo de California (California Profilograph Index (PI))	153
3.3.3.4.5	RMS Bandpass Index	153
3.3.3.5	<i>Conclusiones</i>	153
<b>3.3.4</b>	<b>ANEXO</b>	<b>155</b>
3.3.4.1	<i>Gráficos</i>	155
3.3.4.1.1	Índice de Regla	155



3.3.4.1.2	Índice de Boeing.....	156
3.3.4.1.3	Índice de Rugosidad.....	156
3.3.4.1.4	Índice Perfilógrafo de California.....	157
3.3.4.1.5	Índice Bandpass .....	157
3.3.4.2	<i>Plantas esquemáticas</i> .....	158
3.3.4.2.1	Índice de Boeing (Boeing Bump Index (BBI)).....	158
3.3.4.2.2	Índice Internacional de Rugosidad.....	158
3.3.4.2.3	Índice de Perfilógrafo de California .....	159
3.3.4.2.4	RMS Bandpass Index.....	159
<b>3.4</b>	<b>EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS EXISTENTES .....</b>	<b>159</b>
<b>3.4.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>159</b>
<b>3.4.2</b>	<b>DESCRIPCIÓN ÁREA DE MOVIMIENTO.....</b>	<b>159</b>
<b>3.4.3</b>	<b>DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO.....</b>	<b>161</b>
3.4.3.1	<i>Metodología</i> .....	161
3.4.3.1.1	Equipo.....	161
3.4.3.1.2	Definición de Cargas, Ubicación de Geófonos y Puntos de Evaluación .....	162
3.4.3.1.3	Módulos por Capa en Pavimentos .....	163
3.4.3.1.4	Parámetros Obtenidos del Análisis de la Deflectometría .....	164
3.4.3.2	<i>Zonas de ensayo</i> .....	164
3.4.3.2.1	Pista .....	165
3.4.3.2.2	Rodajes .....	165
3.4.3.2.3	Plataforma .....	165
3.4.3.3	<i>Análisis de deflexiones</i> .....	165
3.4.3.3.1	Módulos Elásticos .....	165
3.4.3.3.2	Resistencia a Flexotracción .....	166
3.4.3.3.3	Capacidad de Soporte del Suelo de Fundación.....	167
3.4.3.3.4	Valores Estudios Anteriores .....	168
<b>3.4.4</b>	<b>GEORRADAR.....</b>	<b>168</b>
3.4.4.1	<i>Metodología</i> .....	168
3.4.4.1.1	Equipo.....	168
3.4.4.1.2	Procedimiento de Medición.....	169
3.4.4.1.3	Determinación de la Estructura de Pavimento con Georradar .....	170
3.4.4.2	<i>Zonas de ensayo</i> .....	172
3.4.4.3	<i>Valores obtenidos</i> .....	172
<b>3.4.5</b>	<b>CÁLCULO ESTRUCTURAL.....</b>	<b>173</b>
3.4.5.1	<i>Determinación de la vida residual</i> .....	173
3.4.5.1.1	Consideraciones de Verificación y Diseño .....	173
3.4.5.1.2	Información del Terreno de Fundación .....	174
3.4.5.1.2.1	Modelo estratigráfico .....	174
3.4.5.1.2.2	Parámetro para diseño estructural .....	174



3.4.5.1.2.3	Valores adoptados de la subrasante .....	175
3.4.5.1.3	Proyección de Demanda.....	175
3.4.5.1.4	Características Estructuras Actuales .....	176
3.4.5.1.5	Resultados Vida Residual.....	177
3.4.5.2	<i>Modelo de Deterioro</i> .....	178
3.4.5.2.1	Consideraciones.....	178
3.4.5.2.1.1	Factor climático.....	180
3.4.5.2.1.2	Tráfico aéreo .....	180
3.4.5.2.1.3	Ramas.....	181
3.4.5.2.1.4	Tipo de Pavimento .....	181
3.4.5.2.1.5	Clasificación del aeropuerto.....	182
3.4.5.2.2	Modelos Deterioros Funcionales .....	182
<b>3.4.6</b>	<b>MODELOS DETERIOROS ESTRUCTURALES.....</b>	<b>184</b>
3.4.6.1.1	Comentarios Generales .....	186
3.4.6.2	PCN.....	186
3.4.6.2.1	General.....	186
3.4.6.2.2	Resultados PCN.....	187
3.4.6.3	<i>Análisis aviación general</i> .....	188
3.4.6.3.1	Datos de Entrada y Resultados .....	189
<b>3.5</b>	<b>EVALUACIÓN DEL ESTADO DE PAVIMENTOS POR MÉTODO PCI.....</b>	<b>190</b>
<b>3.5.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>190</b>
3.5.1.1	<i>General</i> .....	190
3.5.1.2	<i>Criterios de división de zonas PCI</i> .....	191
3.5.1.2.1	Definición de la Red Pavimentada .....	191
3.5.1.2.2	Definición de Ramas (Branches) .....	191
3.5.1.2.3	Definición de las Secciones .....	191
3.5.1.2.4	Definición de las Unidades de Muestra .....	191
3.5.1.2.5	Medición de la Condición del Pavimento .....	191
3.5.1.2.6	Pavimentos Asfálticos.....	192
3.5.1.2.6.1	Procedimiento tradicional .....	192
3.5.1.2.6.2	Procedimiento mecanizado.....	192
3.5.1.2.7	Pavimentos Rígidos.....	196
3.5.1.3	<i>Definición de las secciones del aeropuerto Desierto de atacama</i> .....	196
<b>3.5.2</b>	<b>CONDICIÓN DE LOS PAVIMENTOS.....</b>	<b>197</b>
<b>3.5.3</b>	<b>PROYECCIONES.....</b>	<b>200</b>
3.5.3.1	<i>Proyección estadística PCI por sección</i> .....	200
3.5.3.2	<i>Proyección estadística de deterioros existentes por sección</i> .....	201
<b>3.5.4</b>	<b>OBSERVACIONES GENERALES.....</b>	<b>202</b>
<b>3.5.5</b>	<b>ANEXO N°1.....</b>	<b>202</b>
<b>3.5.6</b>	<b>ANEXO N°2.....</b>	<b>204</b>



<b>4 PLANES DE CONSERVACIÓN Y OBRAS NUEVAS .....</b>	<b>213</b>
<b>4.1 PLAN DE INVERSIÓN EN CONSERVACIÓN MAYOR Y RUTINARIA.....</b>	<b>213</b>
<b>4.1.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>213</b>
<b>4.1.2 PLAN DE CONSERVACIÓN.....</b>	<b>213</b>
4.1.2.1 <i>Tipos de trabajos.....</i>	213
4.1.2.1.1 Conservación Rutinaria.....	213
4.1.2.1.2 Conservación Global preventiva .....	214
4.1.2.1.3 Conservación Mayor .....	214
4.1.2.2 <i>Diagrama de decisión.....</i>	215
4.1.2.3 <i>Criterios de conservación.....</i>	216
4.1.2.4 <i>Características del aeropuerto.....</i>	218
4.1.2.5 <i>Programa de conservación.....</i>	219
<b>4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESPECIALES.....</b>	<b>222</b>
<b>4.2.1 ANTECEDENTES GENERALES.....</b>	<b>222</b>
4.2.1.1 <i>Consideraciones generales.....</i>	222
<b>4.2.2 CONSERVACIÓN MAYOR.....</b>	<b>223</b>
4.2.2.1 <i>Fresado de pavimentos asfáltico.....</i>	223
4.2.2.1.1 Descripción Y Alcances .....	223
4.2.2.1.2 Materiales .....	223
4.2.2.1.3 Equipo.....	223
4.2.2.1.4 Procedimiento de trabajo.....	223
4.2.2.1.5 Unidad de Medida y Pago .....	224
4.2.2.2 <i>Demolición parcial de pavimento asfáltico.....</i>	225
4.2.2.2.1 Descripción y Alcances .....	225
4.2.2.2.2 Materiales .....	225
4.2.2.2.3 Equipo.....	225
4.2.2.2.4 Procedimiento de Trabajo.....	225
4.2.2.2.5 Unidad de Medida y Pago .....	225
4.2.2.3 <i>Demolición total de pavimento asfáltico.....</i>	225
4.2.2.3.1 Descripción y Alcances .....	225
4.2.2.3.2 Materiales .....	225
4.2.2.3.3 Equipo.....	226
4.2.2.3.4 Procedimiento de Trabajo.....	226
4.2.2.3.5 Unidad de Medida y Pago .....	226
4.2.2.4 <i>Demolición parcial de pavimento de hormigón.....</i>	226
4.2.2.4.1 Descripción y Alcances .....	226
4.2.2.4.2 Materiales .....	226
4.2.2.4.3 Equipo.....	226
4.2.2.4.4 Procedimiento de Trabajo.....	226
4.2.2.4.5 Unidad de Medida y Pago .....	227



4.2.2.5	Demolición total de pavimento de hormigón .....	227
4.2.2.5.1	Descripción y Alcances .....	227
4.2.2.5.2	Materiales .....	227
4.2.2.5.3	Equipo.....	227
4.2.2.5.4	Procedimiento de Trabajo.....	227
4.2.2.5.5	Unidad de Medida y Pago .....	228
4.2.2.6	Excavación y retiro.....	228
4.2.2.6.1	Descripción Y Alcances .....	228
4.2.2.6.2	Materiales .....	228
4.2.2.6.3	Equipo.....	228
4.2.2.6.4	Procedimiento de Trabajo.....	228
4.2.2.6.5	Unidad de Medida y pago .....	228
4.2.2.7	Base de material chancado .....	229
4.2.2.7.1	Descripción y Alcances .....	229
4.2.2.7.2	Materiales .....	229
4.2.2.7.3	Equipo.....	229
4.2.2.7.4	Procedimiento de Trabajo.....	229
4.2.2.7.5	Unidad de Medida y Pago .....	229
4.2.2.8	Imprimación bituminosa.....	229
4.2.2.8.1	Descripción y Alcances .....	229
4.2.2.8.2	Materiales .....	229
4.2.2.8.3	Equipo.....	230
4.2.2.8.4	Procedimiento de Trabajo.....	230
4.2.2.8.5	Unidad de Medida y Pago .....	230
4.2.2.9	Riego de liga.....	230
4.2.2.9.1	Descripción y Alcances .....	230
4.2.2.9.2	Materiales .....	230
4.2.2.9.3	Equipo.....	230
4.2.2.9.4	Procedimiento de Trabajo.....	231
4.2.2.9.5	Unidad de Medida y Pago .....	231
4.2.2.10	Pavimento asfáltico .....	231
4.2.2.10.1	Descripción y Alcances .....	231
4.2.2.10.2	Materiales .....	231
4.2.2.10.3	Equipo.....	232
4.2.2.10.4	Procedimiento de Trabajo.....	232
4.2.2.10.5	Unidad de Medida y Pago .....	234
4.2.2.11	Pavimento de hormigón .....	234
4.2.2.11.1	Descripción y Alcances .....	234
4.2.2.11.2	Materiales .....	234
4.2.2.11.3	Equipo.....	234



4.2.2.11.4	Procedimiento de Trabajo .....	235
4.2.2.11.5	Unidad de Medida y Pago .....	235
4.2.2.12	<i>Sellado de juntas</i> .....	235
4.2.2.12.1	Descripción y Alcances .....	235
4.2.2.12.2	Materiales .....	235
4.2.2.12.3	Equipo.....	236
4.2.2.12.4	Procedimiento de Trabajo.....	236
4.2.2.12.5	Unidad de Medida y Pago .....	236
<b>4.2.3</b>	<b>CONSERVACIÓN RUTINARIA.....</b>	<b>236</b>
4.2.3.1	<i>Bacheo profundo en asfalto</i> .....	236
4.2.3.1.1	Descripción y Alcances .....	236
4.2.3.1.2	Materiales .....	236
4.2.3.1.2.1	Bases y sub-bases.....	236
4.2.3.1.2.2	Ligantes.....	236
4.2.3.1.2.3	Mezclas asfálticas.....	236
4.2.3.1.3	Equipo.....	237
4.2.3.1.4	Procedimiento de Trabajo.....	237
4.2.3.1.4.1	Remoción del área deteriorada.....	237
4.2.3.1.4.2	Reemplazo de bases y sub-bases .....	237
4.2.3.1.4.3	Relleno con mezclas asfálticas.....	237
4.2.3.1.4.4	Criterio de control.....	237
4.2.3.1.5	Unidad de Medida y Pago .....	238
4.2.3.2	<i>Bacheo a profundidad parcial en asfalto</i> .....	238
4.2.3.2.1	Descripción y Alcances .....	238
4.2.3.2.2	Materiales .....	238
4.2.3.2.3	Equipo.....	238
4.2.3.2.4	Procedimiento de Trabajo.....	238
4.2.3.2.4.1	Remoción del área deteriorada.....	238
4.2.3.2.4.2	Relleno .....	239
4.2.3.2.5	Unidad de Medida y Pago .....	239
4.2.3.3	<i>Bacheo profundo en hormigón y reemplazo de losa</i> .....	239
4.2.3.3.1	Descripción y Alcances .....	239
4.2.3.3.2	Materiales .....	239
4.2.3.3.3	Equipo.....	239
4.2.3.3.4	Procedimiento de Trabajo.....	240
4.2.3.3.4.1	Remoción del pavimento.....	240
4.2.3.3.4.2	Preparación antes de hormigonar.....	240
4.2.3.3.4.3	Hormigonado.....	240
4.2.3.3.5	Unidad de Medida y Pago .....	240
4.2.3.4	<i>Bacheo a profundidad parcial en hormigón</i> .....	241



4.2.3.4.1	Descripción y Alcances .....	241
4.2.3.4.2	Materiales .....	241
4.2.3.4.3	Equipo.....	241
4.2.3.4.4	Procedimiento de Trabajo.....	241
4.2.3.4.5	Unidad de Medida y Pago .....	241
4.2.3.5	<i>Sello protector de pavimento asfáltico</i> .....	242
4.2.3.5.1	Descripción y Alcances .....	242
4.2.3.5.2	Materiales .....	242
4.2.3.5.3	Equipo.....	242
4.2.3.5.4	Procedimiento de Trabajo.....	242
4.2.3.5.5	Unidad de Medida y Pago .....	242
4.2.3.6	<i>Sellado grietas</i> .....	242
4.2.3.6.1	Descripción y Alcances .....	242
4.2.3.6.2	Materiales .....	242
4.2.3.6.2.1	Sellantes.....	242
4.2.3.6.2.2	Material de respaldo.....	242
4.2.3.6.3	Equipo.....	243
4.2.3.6.3.1	Equipos de limpieza de las grietas.....	243
4.2.3.6.3.2	Equipo sellador de grietas .....	243
4.2.3.6.4	Procedimiento de Trabajo.....	243
4.2.3.6.5	Unidad de Medida y Pago .....	243
4.2.3.7	<i>Cepillado</i> .....	243
4.2.3.7.1	Descripción y Alcances .....	243
4.2.3.7.2	Materiales .....	243
4.2.3.7.3	Equipo.....	243
4.2.3.7.4	Procedimiento de Trabajo.....	244
4.2.3.7.5	Unidad de Medida y Pago .....	244
4.2.3.8	<i>Remoción de caucho</i> .....	244
4.2.3.8.1	Descripción y Alcances .....	244
4.2.3.8.2	Materiales .....	244
4.2.3.8.3	Equipo.....	244
4.2.3.8.4	Procedimiento de Trabajo.....	244
4.2.3.8.4.1	Método mecanizado de microtexturado superficial.....	244
4.2.3.8.4.2	Método de chorro de agua.....	245
4.2.3.8.5	Unidad de Medida y Pago .....	245

## ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICOS

Figura 1.1: Ubicación Aeropuerto Desierto de Atacama .....	19
Figura 1.1: Clasificación PCI.....	21
Figura 1.2: Sección de hormigón a evaluar .....	21
Figura 1.3: Phantom 4 Pro.....	22



Figura 1.4: Plan de vuelo .....	24
Figura 1.5: Toma fotográfica .....	25
Figura 1.6: Alineamiento de imágenes .....	25
Figura 1.7: Ortomosaico .....	26
Figura 1.8: Unidad de muestra tipo .....	27
Figura 1.9: Introducción de datos en Micro Paver .....	28
Figura 1.10: Sección de asfalto .....	29
Figura 1.11: Metodología semiautomatizada cálculo del PCI .....	30
Figura 1.12: Principio del escaneo en 3D de la superficie del pavimento .....	31
Figura 1.13: Cámara de fotogrametría terrestre.....	31
Figura 1.14: Medición para pista de una unidad de muestra.....	32
Figura 1.15: Esquema de medición para pista y calles de rodaje en una unidad de muestra.....	32
Figura 1.16: Ejemplo imagen con detección de deterioros en pavimento flexible.....	34
Figura 1.17: Software Paver Image Inspector .....	34
Figura 1.18: Línea de referencia de inicio de mediciones .....	35
Figura 1.19: Tabla de resultados de monografía y PCI.....	37
Figura 1.20: Salida gráfica de resultados PCI en Google Earth.....	37
Figura 1.21: Organigrama Toma de decisiones.....	40
Figura 1.22: Diagrama de decisión para asignar Mantenimiento Global Preventivo Asfáltico .....	46
Figura 1.23: Niveles de Índice Coeficiente de Roce .....	48
Figura 1.24: Curva deterioro del pavimento .....	51
Figura 1.25: Equipo medidor del valor $\mu$ .....	52
Figura 1.26: Criterio para determinar la frecuencia de medición de coeficiente de roce.....	52
Figura 1.27: Deflectómetro de impacto .....	53
Figura 1.28: Sistema para ensayos de perfilometría.....	54
Figura 1.29: Medición con georradar .....	54
Figura 1.30: Relación entre frecuencia y capacidad de penetración de la antena .....	55
Figura 2.1: Secciones Características Aeropuerto Desierto de Atacama de Copiapó .....	60
Figura 2.2: Ubicación del terreno.....	62
Figura 2.3: Ubicación Calicatas.....	63
Figura 2.4: Perfiles .....	71
Figura 3.1: Ubicación de la Estación Meteorológica .....	87
Figura 3.2: Esquema Pista.....	140
Figura 3.3: Esquema Zonas Evaluadas .....	143
Figura 3.4: Esquema Zonas Evaluadas .....	144
Figura 3.5: Esquema de Avance de Pista .....	145
Figura 3.6: Esquema Avance rodaje Bravo .....	148
Figura 3.7: Esquema Avance rodaje Charlie .....	150
Figura 3.8: Esquema Avance rodaje Delta .....	151
Figura 3.9: Índice de Boeing .....	158
Figura 3.10: Índice Internacional de Rugosidad .....	158
Figura 3.11: Índice de Perfilógrafo de California.....	159
Figura 3.12: RMS Bandpass Index .....	159
Figura 3.13: Secciones Características .....	160
Figura 3.14: Esquema Deflectómetro de Impacto .....	161
Figura 3.15: Termómetro Pavimento .....	162
Figura 3.16: Distribución de Geófonos Deflectómetro de Impacto FWD.....	162
Figura 3.17: Esquema de Evaluación en Pista y Rodajes Pavimento Asfáltico .....	163
Figura 3.18: Software ELMOD 6 .....	163
Figura 3.19: Ubicación Puntos Deflectometría .....	164
Figura 3.20: georradar .....	169
Figura 3.21: Componentes: Antena, Procesador, Odómetro .....	169
Figura 3.22: Calibración con Placa Metálica en Terreno .....	170
Figura 3.23: Imagen Obtenida con Georradar .....	171
Figura 3.24: Interfaz del Software.....	171
Figura 3.25: Esquema General de un Pavimento Evaluado.....	172
Figura 3.26: Pista, Asfalto .....	182
Figura 3.27: Rodaje, Asfalto .....	183
Figura 3.28: Plataforma, Asfalto.....	183



Figura 3.29: Plataforma, Hormigón.....	184
Figura 3.30: Pista, Asfalto.....	184
Figura 3.31: Rodaje, Asfalto.....	185
Figura 3.32: Plataforma, Asfalto.....	185
Figura 3.33: Plataforma, Hormigón.....	186
Figura 3.34: Modelo Aviación General.....	190
Figura 3.35: Ejemplo imagen con detección de deterioros en pavimento flexible.....	194
Figura 3.36: Software Paver Image Inspector.....	195
Figura 3.37: Ramas Air Side.....	197
Figura 3.38: Secciones Air Side.....	198
Figura 4.1: Diagrama de Decisión para Programa de Conservación.....	216
Figura 2.2: Curva de Gastos Anual y Acumulada.....	220
Figura 4.3: Detalle Cajeo Luces eje de Pista.....	224
Tabla 1.1: Especificaciones técnicas Phantom 4 Pro.....	22
Tabla 1.2: Índice PCI por sección.....	28
Tabla 1.3: Índice PCI por unidad de muestra.....	28
Tabla 1.4: Deterioros por unidad de muestra.....	29
Tabla 1.5: Índice PCI por unidad de muestra.....	36
Tabla 1.6: Deterioros por unidad de muestra.....	36
Tabla 1.7: Rangos PCI.....	42
Tabla 1.8: Política de Mantenimiento Localizada de Emergencia Pavimentos Aeronaves.....	43
Tabla 1.9: Política de Mantenimiento Localizada Preventiva Pavimentos Aeronaves.....	44
Tabla 1.10: Frecuencia de ejecución de ensayos/inspecciones.....	55
Tabla 2.1: Secciones Características Aeropuerto Desierto de Atacama de Copiapó.....	59
Tabla 2.2: Operaciones Totales según tipo de Actividad. 2009 – 2020. Desierto de Atacama.....	61
Tabla 2.3: Evolución Histórica de Principales Actividades. Desierto de Atacama. Período 2009 – 2020.....	61
Tabla 2.4: Profundidades de extracción de muestra para ensayar.....	68
Tabla 2.5: Resultados Límites Atterberg.....	70
Tabla 2.6: Ensayos de laboratorio realizados.....	72
Tabla 2.7: Resultados Proctor.....	72
Tabla 2.8: Resultados Densidades.....	73
Tabla 3.1: Características geométricas principales de la pista.....	86
Tabla 3.2: Precipitación total mensual (2005-2019).....	88
Tabla 3.3: Temperatura mínima media mensual (2005-2019).....	89
Tabla 3.4: Temperatura máxima media mensual (2005-2019).....	90
Tabla 3.5: Temperatura media mensual (2005-2019).....	91
Tabla 3.6: Radiación solar global acumulada media mensual (2005-2019).....	92
Tabla 3.7: Valores estadísticos de cada serie anual (precipitación total mensual).....	93
Tabla 3.8: Valores estadísticos mensual de la serie pluri-anual (precipitación total mensual).....	94
Tabla 3.9: Valores estadísticos de cada serie anual (temperatura mínima media mensual).....	94
Tabla 3.10: Valores estadísticos mensual de la serie pluri-anual (temperatura mínima media mensual).....	95
Tabla 3.11: Valores estadísticos de cada serie anual (temperatura máxima media mensual).....	95
Tabla 3.12: Valores estadísticos mensual de la serie pluri-anual (temperatura máxima media mensual).....	95
Tabla 3.13: Valores estadísticos de cada serie anual (temperatura media mensual).....	96
Tabla 3.14: Valores estadísticos mensual de la serie pluri-anual (temperatura media mensual).....	96
Tabla 3.15: Valores estadísticos de cada serie anual (radiación solar acumulada media mensual).....	97
Tabla 3.16: Valores estadísticos mensual de la serie pluri-anual (radiación solar acumulada media mensual).....	97
Tabla 3.17: Proyección Pasajeros Aeropuerto Desierto de Atacama.....	100
Tabla 3.18: Proyección de operaciones según aeronaves comerciales.....	101
Tabla 3.19: Proyección de Operaciones Totales Atacama.....	102
Tabla 3.20: Aeronaves Mayores Tipo según actividad y Peso. Atacama.....	103
Tabla 3.21: Proyección de Operaciones Totales Atacama según Escenarios. Periodo 2021 – 2041.....	103
Tabla 3.22: Datos históricos Aeropuerto Desierto de Atacama.....	110
Tabla 3.23: Test de raíz unitaria Dickey – Fuller.....	113
Tabla 3.24: Test de Raíz Unitaria del PIB de la Región de Atacama.....	114
Tabla 3.25: Test de Raíz Unitaria de Dickey – Fuller.....	115
Tabla 3.26: Test de Raíz Unitaria del Precio Real del Cobre.....	116
Tabla 3.27: Test de Raíz Unitaria de Dickey – Fuller.....	116



Tabla 3.28: Test de Raíz Unitaria Tarifas Aéreas.....	118
Tabla 3.29: Test Adicionales.....	118
Tabla 3.30: Test de Raíz Unitaria de ADF del Número de Pasajeros.....	119
Tabla 3.31: Matriz de Correlaciones.....	121
Tabla 3.32: Resultados Test de Cointegración de Engle y Granger.....	121
Tabla 3.33: Resultados de las Estimaciones Modelos Seleccionados.....	123
Tabla 3.34: Proyecciones PIB.....	124
Tabla 3.35: Proyección PIB Regional Atacama (miles de millones de \$).....	125
Tabla 3.36: Proyecciones de Pasajeros Atacama.....	126
Tabla 3.37: Actividades de Aeronaves Observadas según bitácoras (enero – diciembre 2019).....	128
Tabla 3.38: Aeronaves Observadas en Actividad Comercial Según bitácoras DGAC (año 2019).....	128
Tabla 3.39: Operadores Históricos Periodo 2009 – 2019.....	129
Tabla 3.40: Operaciones Actividad Militar. Periodo 2009 a 2019.....	129
Tabla 3.41: Resumen Otras Actividades. Periodo septiembre 2018 – agosto 2019.....	130
Tabla 3.42: Evolución de la actividad, embarque y avión medio. 2009 a 2019.....	130
Tabla 3.43: Evolución de las operaciones según Rutas.....	131
Tabla 3.44: Participación de Aeronaves en la flota Proyectada.....	133
Tabla 3.45: Proyección de Operaciones según tipos de Aeronaves Comerciales Mayores.....	134
Tabla 3.46: Tráfico de Carga Copiapó y Nacional.....	135
Tabla 3.47: Proyección de Operaciones relevantes y totales según tipos de Actividad.....	135
Tabla 3.48: Proyección Operaciones Comerciales de SCAT y de Conexión con AMB.....	136
Tabla 3.49: Operaciones por tipo de Aeronaves 2014 - 2019.....	136
Tabla 3.50: Participación relativa de aeronaves área de Movimiento 2014 - 2019.....	137
Tabla 3.51: Características de las principales aeronaves 2014 - 2019.....	137
Tabla 3.52: Participación relativa de las principales actividades. Atacama 2014- 2019.....	138
Tabla 3.53: Crecimiento Flota promedio.....	138
Tabla 3.54: Roce de Pista Velocidad de 65 Km/h a 3m.....	140
Tabla 3.55: Simbología.....	141
Tabla 3.56: Promedio Roce Pista por Tercio.....	141
Tabla 3.57: Roce de Pista Velocidad de 65 Km/h a 5m.....	141
Tabla 3.58: Simbología.....	142
Tabla 3.59: Promedio Roce Pista por Tercio.....	142
Tabla 3.60: Índice de Regla(mm).....	145
Tabla 3.61: Índice de Boeing.....	146
Tabla 3.62: Índice Internacional de Rugosidad (m/km).....	146
Tabla 3.63: Índice de Perfilógrafo de California (m/km).....	147
Tabla 3.64: Índice Band Pass (mm).....	147
Tabla 3.65: Valores de Regla (mm).....	148
Tabla 3.66: Índice de Boeing.....	148
Tabla 3.67: Índice Internacional de Rugosidad (m/km).....	149
Tabla 3.68: Índice de Perfilógrafo de California (m/km).....	149
Tabla 3.69: Índice Band Pass (mm).....	149
Tabla 3.70: Valores de Regla (mm).....	150
Tabla 3.71: Índice de Boeing.....	150
Tabla 3.72: Índice Internacional de Rugosidad (m/km).....	150
Tabla 3.73: Índice de Perfilógrafo de California (m/km).....	151
Tabla 3.74: Índice Band Pass (mm).....	151
Tabla 3.75: Valores de Regla (mm).....	152
Tabla 3.76: Índice de Boeing.....	152
Tabla 3.77: Índice Internacional de Rugosidad (m/km).....	152
Tabla 3.78: Índice de Perfilógrafo de California (m/km).....	153
Tabla 3.79: Índice Band Pass (mm).....	153
Tabla 3.80: Conclusiones.....	153
Tabla 3.81: Secciones Características.....	160
Tabla 3.82: Módulos de Elasticidad (E) por Sección.....	165
Tabla 3.83: Resistencia a Flexotracción (Rf).....	166
Tabla 3.84: Valores Reacción Subrasante.....	167
Tabla 3.85: Valores Estudio 2014.....	168
Tabla 3.86: Determinación Espesores Promedio.....	173



Tabla 3.87: Parámetros del suelo.....	174
Tabla 3.88: Proyección Esperada de Operaciones Nacionales. Según tipos de Actividad .....	175
Tabla 3.89: Aeronaves Mayores Tipo según actividad y Peso .....	176
Tabla 3.90: Aeronaves de Cálculo .....	176
Tabla 3.91: Características de Pavimentos .....	176
Tabla 3.92: Vida Residual (VR).....	177
Tabla 3.93: Observaciones.....	177
Tabla 3.94: Deterioros Pavimentos de Aeronaves Según Micropaver .....	178
Tabla 3.95: Nomenclatura .....	179
Tabla 3.96: Características Meteorológicas .....	180
Tabla 3.97: Operaciones Totales Anuales (MTOW > 5.670kg) .....	181
Tabla 3.98: Modelos del Aeropuerto .....	182
Tabla 3.99: Nomenclatura PCN.....	187
Tabla 3.100: Espesores .....	187
Tabla 3.101: Valores Obtenidos.....	188
Tabla 3.102: Valores PCN por Rama .....	188
Tabla 3.103: Secciones Air Side .....	197
Tabla 3.104: Rangos PCI .....	198
Tabla 3.105: Deterioros del SCI.....	198
Tabla 3.106: Condición Pavimento Air Side.....	199
Tabla 3.107: Proyección de PCI de cada Sección del Aeropuerto - Air Side .....	200
Tabla 3.108: Proyección de Deterioros En Pavimentos de Hormigón .....	201
Tabla 3.109: Proyección de Deterioros En Pavimentos Asfálticos .....	201
Tabla 3.110: Observaciones .....	202
Tabla 3.111: Deterioros En Pavimentos Asfálticos Para Aeronaves.....	202
Tabla 3.112: Deterioros en Pavimentos de Hormigón para Aeronaves.....	203
Tabla 3.113: Índice de PCI por Unidad de Muestra Inspeccionada Air Side .....	204
Tabla 3.114: Tipo y Cantidad de Deterioros por Sección (Air Side)-Hormigón.....	205
Tabla 3.115: Tipo y Cantidad de Deterioros por Sección (Air Side) - Asfalto.....	205
Tabla 3.116: Tipo y Cantidad de Deterioros por Unidad de Muestra (Air Side) .....	206
Tabla 4.1: Deterioros Pavimentos y Tipo de Reparación Localizada Preventiva .....	214
Tabla 4.2: Rangos PCI.....	215
Tabla 4.3: Características de cada Sección .....	218
Tabla 4.4: Detalle Programa Conservación Anual .....	219
Tabla 4.5: Criterio de Diseño PCG .....	233
Tabla 4.6: Porcentaje mínimo de huecos en el agregado mineral .....	233
Tabla 4.7: Granulometría de agregados para pavimentos bituminosos.....	233
Tabla 4.8: Ensayes mezcla asfáltica.....	233
Gráfico 2.1: Evolución y Tendencia Histórica. Desierto de Atacama .....	62
Gráfico 2.2: Granulometría Muestras.....	68
Gráfico 2.12:Fracción fina con hidrómetro Muestras.....	70
Gráfico 3.1: Precipitación total mensual según meses del año (serie de 15 años) .....	88
Gráfico 3.2: Temperatura mínima media mensual según meses del año (serie de 15 años).....	89
Gráfico 3.3: Temperatura máxima media mensual según meses del año (serie de 15 años). .....	90
Gráfico 3.4: Temperatura media mensual según meses del año (serie de 15 años) .....	91
Gráfico 3.5: Radiación solar acumulada media mensual según meses del año (serie de 2 años*). .....	92
Gráfico 3.6: Índice de Tarifas Aéreas v/s años. ....	108
Gráfico 3.7: PIB Nacional (Miles de Millones de \$ encadenados base 2013).....	113
Gráfico 3.8: PIB Región de Atacama (miles de millones de pesos encadenados) .....	114
Gráfico 3.9: Serie Histórica del Empleo RM (miles de personas). .....	115
Gráfico 3.10: Precio Real del Cobre (dólares de 2020 por libra).....	115
Gráfico 3.11: Precio Real del Petróleo (dólares de 2020 por barril). .....	116
Gráfico 3.12: Índice Real de Tarifas .....	117
Gráfico 3.13: Pasajeros Transportados en Atacama (número de personas) .....	118
Gráfico 3.14: Evolución PIB Nacional y PIB III Región (en logaritmo).....	124
Gráfico 3.15: Proyecciones Pasajeros.....	126
Gráfico 3.16: Partcipación de las Operaciones.....	138
Gráfico 3.17: Coeficiente Roce de Pista a Velocidad de 65 Km/h .....	141



Gráfico 3.18: Coeficiente Roce de Pista a Velocidad de 65 Km/h .....	142
Gráfico 3.19: Índice de Regla.....	155
Gráfico 3.20: Índice de Boeing .....	156
Gráfico 3.21: Índice de Rugosidad .....	156
Gráfico 3.22: Índice Perfilógrafo de California .....	157
Gráfico 3.23: Índice Bandpass .....	157
Gráfico 3.24: Comparativa de PCI por Sección.....	199
Gráfico 3.25: Proyección PCI por Sección 2021/2026 .....	201



## A. INTRODUCCIÓN

En el contexto del estudio llevado a cabo por la Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas denominado "Diagnóstico Auscultación de Pavimentos Aeroportuarios de la Red Primaria Zona Norte", que tiene como objetivo; según TR, la actualización al año 2020 de las características físicas de los elementos que componen la infraestructura horizontal del área de movimiento de los aeródromos o aeropuertos que componen la red primaria zona norte del país, así como también la del estado funcional y estructural de dicha infraestructura, de modo que esta información sea ingresada para su utilización a la herramienta de gestión de mantenimiento que tiene el servicio. Por otra parte, el estudio considera el desarrollo de una política de mantenimiento y rehabilitación, que permita definir el nivel de servicio deseado de la infraestructura horizontal y las obras de conservación o mantenimiento, además de la detección de obras nuevas que se requieran para mantener dicho nivel de servicio. De este modo, se desarrolla recopilación de antecedentes históricos, además de la generación de estudios geotécnicos, caracterización climática, proyección de tránsito aéreo y auscultación en terreno de las condiciones físicas, estructurales y funcionales, que permiten alcanzar los objetivos antes descritos para los aeropuertos zona norte, en este caso en específico del aeropuerto Desierto de Atacama ubicado en la ciudad de Copiapó de la región de Atacama.

En el siguiente documento, se presenta la Etapa 5, subetapa 5.2 correspondiente al Informe Final, que incluirá todas las etapas mencionadas en ítem D.

## B. NORMATIVA

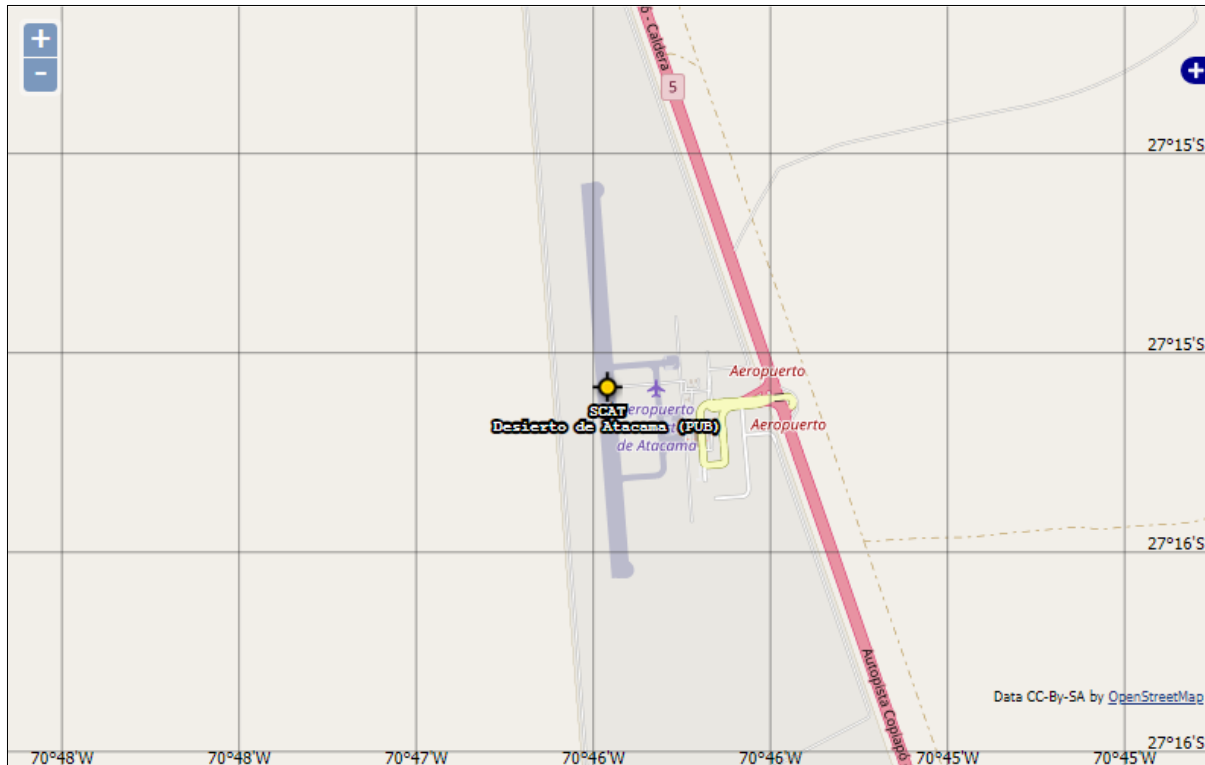
Para el desarrollo de este estudio, se tiene en consideración los siguientes documentos y normativas vigentes y pertinentes que permiten evaluar y estandarizar los resultados.

- a) ASTM D 6433-07 Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys
- b) ASTM D 5340 Índice Condición de Pavimentos en Aeropuerto (PCI) Apéndice X1 (Pavimentos Asfálticos AC).
- c) ASTM D 5340 Índice Condición de Pavimentos en Aeropuerto (PCI) Apéndice X2 (Pavimentos de Hormigón PCC)
- d) AC 150/5320-6F Airport Pavement Design and Evaluation
- e) AC 150/5320-17A Appendix A Asphalt Airfield Pavement Surface Evaluation and Rating Manuals
- f) AC 150/5320-17A Appendix B Concrete Airfield Pavement Surface Evaluation and Rating Manuals
- g) AC 150/5335-5C Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength-PCN
- h) AC 150/5380-6C Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements
- i) AC 150/5380-7B Airport Pavement Management Program (PMP)
- j) AC 150/5380-9, Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness
- k) AC 150/5370-11B Use of Nondestructive Testing in the Evaluation of Airport Pavements
- l) User Manual Micro Paver 7.0.11
- m) Paver Distress Identification Manual. Asphalt and Concrete Surfaced Airfields
- n) Plan Mantenimiento Horizontal aplicado a Concesionarias del país.
- o) DOC 9157-AN901/OACI. Manual de Diseño de Aeródromos Parte 3 Pavimentos.

### C. DESCRIPCIÓN DEL AEROPUERTO DESIERTO DE ATACAMA

El aeropuerto Desierto de Atacama con código OACI: SCAT, se ubica a 18,5 Km al noroeste de la ciudad de Copiapó y al poniente de la ruta 5 Norte, en la región de Atacama. Su referencia geográfica es 18°20'55" de latitud Sur y 70°20'19" de longitud Oeste, y su elevación corresponde a 51 msnm. Administrado por D.G.A.C., de uso público.

Figura 1.1: Ubicación Aeropuerto Desierto de Atacama



Fuente: <https://www.aipchile.gob.cl/aerodromo/ubicacion/designador/SCAT>

### D. ETAPAS Y SUBETAPAS

La programación del siguiente estudio se realizó de acuerdo a las siguientes etapas y sub etapas:

1. Plan Piloto y Metodología
  - 1.1.- Cancha de Prueba
  - 1.2.- Desarrollo de metodología y política de conservación
2. Caracterización de la Infraestructura Horizontal
  - 2.1.- Recopilación de antecedentes y mediciones en terreno
  - 2.2.- Estudio geotécnico de laboratorio
3. Evaluación Estructural y Funcional de los Pavimentos
  - 3.1.- Características climáticas del lugar
  - 3.2.- Proyección de tránsito aéreo
  - 3.3.- Evaluación funcional de los pavimentos existentes
  - 3.4.- Evaluación estructural de los pavimentos existentes
  - 3.5.- Evaluación del estado de pavimentos por método PCI
4. Plan de Conservación y Obras Nuevas
  - 4.1.- Plan de inversión en conservación mayor y rutinaria.

Estas etapas y sub etapas se desarrollarán a continuación:



## 1 PLAN PILOTO Y METODOLOGÍA

### 1.1 CANCHA DE PRUEBA

#### 1.1.1 Introducción

Este capítulo viene a mostrar los resultados de la Cancha de Prueba, según un levantamiento diferente a la metodología tradicional (auscultación visual) para la determinación del índice PCI (Pavement Condition Index), el que se utilizó en todos los aeropuertos tanto nacionales como internacionales, de acuerdo a ASTM Standard Practice D5340 "Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Survey".

Es importante establecer que, tanto para el caso del pavimento asfáltico como del pavimento de hormigón, todas las consideraciones relativas al desarrollo del post proceso asociadas a identificar las variables que hacen que este siga siendo una evaluación subjetiva, por lo tanto, es relevante que el post proceso sea realizado por profesionales con los conocimientos suficientes para detectar los deterioros definidos en el método PCI.

#### 1.1.2 Definición De La Red Pavimentada Metodología PCI

##### 1.1.2.1 División de las zonas a evaluar

El primer paso antes de cualquier inspección, es establecer un sistema de administración de pavimentos, dividiéndolo por ramas, secciones y unidades de muestra.

Se define rama como una parte fácilmente identificable de la red y tiene una función específica, por ejemplo, pista, plataforma y rodajes. Las ramas se dividen en componentes más pequeñas denominadas secciones. Cada rama consiste en a lo menos una sección, pero puede contener más si las características del pavimento varían a través de la rama. Los factores a considerar para dividir una rama en secciones son; por ejemplo: la estructura del pavimento, el tráfico, la edad, u otra característica que haga diferenciarse entre ellas.

Las unidades de muestra; en adelante UM, se definen como la división más pequeña que se realiza al pavimento dentro de una sección, con el solo propósito de efectuar la inspección.

Una vez definidas las UM, se demarcan con pintura los límites de éstas en terreno, numerándolas en el extremo superior de cada una de ellas. Cada UM tendrá asociada una ficha de inspección. Las UM se definirán como un área de alrededor de 450 m<sup>2</sup> +/- 180 m<sup>2</sup> en superficies asfálticas y 20 +/- 8 losas para pavimentos de hormigón. Las UM podrán ser menores o mayores dependiendo de la configuración del terreno, sin ser demasiado diferentes entre unidades de una misma sección.

Para el caso de la cancha de prueba; desarrollada en la zona civil del Aeródromo de Viña del Mar (Aeródromo de Torquemada), se han definido dos ramas a evaluar: Pista; para pavimento asfáltico, y Plataforma; para pavimento de hormigón. Para la zona de hormigón se considera la totalidad de la plataforma de aviación general que tiene un área cercana a la solicitada por BALI (5.000m<sup>2</sup>), en tanto que en pista; y posterior a una revisión previa por parte del IF y Consultor, se ha definido evaluar la zona central de ésta; de 10m de ancho, dividida longitudinalmente en dos secciones de 5m de ancho cada una, con UM de 100m de largo.

##### 1.1.2.2 Índice PCI

La metodología PCI asigna un valor de 0 a 100 según la condición del pavimento, cuando el pavimento está fallado tendrá un valor cercano a 0 y cuando el pavimento está en perfectas condiciones tendrá un valor de 100. A continuación, se presenta la descripción cualitativa según los diferentes rangos:

Figura 1.1: Clasificación PCI

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

Fuente: Elaboración propia

En la metodología de cálculo de PCI intervienen deterioros superficiales presentes en la carpeta asfáltica o en la superficie de concreto, diferenciados por sus características y sus severidades. Esto es lo que será evaluado en las dos secciones de cancha de prueba, según los diferentes métodos para captar la información y será comparada con la inspección realizada por la DAP, con la que no deberá tener más de un 5% de diferencia entre ambos valores de PCI obtenidos. Caso contrario se estimaría que la evaluación difiere del método tradicional.

### 1.1.3 Cancha De Prueba Pavimento De Hormigón

#### 1.1.3.1 Sección a evaluar

La cancha de prueba para el pavimento de hormigón fue definida considerando un área que contara con al menos 5000m<sup>2</sup>. Según las posibilidades de este tipo de pavimento en el Aeródromo de Viña del Mar, únicamente se cuenta con la plataforma de aviación general; antiguamente de aviación comercial, considerando que la segunda opción es la plataforma de aviación militar dependiente de la Armada. Sin embargo, esta zona se encuentra restringida al acceso de personal civil.

La plataforma evaluada cuenta con 360 losas de 4x4 metros, teniendo una configuración de 16 UM, teniendo entre 20 y 25 losas por cada unidad. A esta sección se denominó PL-1.

Figura 1.2: Sección de hormigón a evaluar



Fuente: Google Earth

### 1.1.3.2 Vuelo fotogramétrico sistemas aéreos no tripulados (RPAS)

El constante avance de la tecnología ha sido de gran beneficio en diferentes ámbitos del quehacer diario. En este caso en particular, ha sido el uso de sistemas aéreos no tripulados como una herramienta muy eficiente en la auscultación visual de los pavimentos pertenecientes a un aeropuerto o aeródromo determinado.

La idea de la cancha de prueba en este tipo de pavimento consistió en la toma de fotos en forma aérea, descartando la inspección in situ, con lo que el procedimiento de acceder a la condición del pavimento es más rápido y se conserva una base de datos fidedigna, la cual puede ser consultada en cualquier momento, teniendo en forma exacta la ubicación de cada deterioro que pueda hallarse.

Cabe indicar que los vuelos fotogramétricos se regirán por la normativa DAN 151 y DAN 91.

#### 1.1.3.2.1 *Equipo DJI Phantom 4 Pro*

Para la ejecución de los vuelos fotogramétricos, se usará un RPAs de marca DJI y modelo Phantom 4 Pro. Se adjunta imagen y ficha técnica.

Figura 1.3: Phantom 4 Pro



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 1.1: Especificaciones técnicas Phantom 4 Pro

PHANTOM 4 PRO	
Peso (batería y hélices incluidas)	1375g
Tamaño diagonal (hélices excluidas)	350 mm
Velocidad máxima de ascenso	Modo S: 6 m / s - Modo P: 5 m / s
Velocidad máxima de descenso	Modo S: 4 m / s - Modo P: 3 m / s
Máxima velocidad	Modo S: 45 mph (72 kph)
	Modo A: 36 mph (58 kph)
	Modo P: 31 mph (50 kph)
Ángulo de inclinación máxima	Modo S: 42°
	Modo A: 35°
	Modo P: 25°
Velocidad angular máxima	Modo S: 250° / s - Modo A: 150° / s
Techo de servicio máximo sobre el nivel del mar	19685 pies (6000 m)
Sistemas de posicionamiento por satélite	GPS / GLONASS
RANGO DE PRECISIÓN DE LA LIBRACIÓN	
Vertical	± 0,1 m (con posicionamiento de visión)
	± 0,5 m (con posicionamiento de GPS)
Horizontal	± 0,3 m (con posicionamiento de visión)
	± 1,5 m (con posicionamiento de GPS)
SISTEMA DE VISIÓN	
Rango de velocidad	31 mph (50 kph) a 6.6 pies (2 m) sobre el suelo
Rango de altitud	0 - 33 pies (0 - 10 m)



<b>PHANTOM 4 PRO</b>	
Rango de operación	0 - 33 pies (0 - 10 m)
Rango sensorial obstáculo	2 - 98 pies (0.7 - 30 m)
FOV	Hacia adelante: 60 ° (horizontal), ± 27 ° (vertical)
	Hacia atrás: 60 ° (horizontal), ± 27 ° (vertical)
	Hacia abajo: 70 ° (frontal y posterior), 50 ° (izquierda y derecha)
Frecuencia de medición Adelante	10 Hz. - Atrás: 10 Hz. - Hacia abajo: 20 Hz
<b>CÁMARA</b>	
Sensor	1" píxeles efectivos CMOS : 20M
Lente	FOV 84 ° 8,8 mm / 24 mm (equivalente en formato de 35 mm) f / 2.8 - f / 11 enfoque automático a 1 m – 8
Video	100 - 3200 (Automático)
	100 - 6400 (Manual)
Foto	100 - 3200 (Automático)
	100- 12800 (Manual)
Velocidad de obturación mecánica	8 - 1/2000 s
Velocidad de obturador electrónico	8 - 1/8000 s
<b>TAMAÑO DE LA IMAGEN</b>	
Relación de aspecto 3: 2	5472 × 3648
Relación de aspecto 4: 3	4864 × 3648
Relación de aspecto 16: 9	5472 × 3078
<b>MODOS DE FOTOGRAFÍA FIJA</b>	
Disparo de ráfaga de disparo único: 3/5/7/10/14	
Horquillado de exposición automática (AEB): 3/5 cuadros entre corchetes a 0,7 EV	
Intervalo de polarización: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s	
<b>CARDÁN</b>	
Estabilización	3 ejes (inclinación, balanceo, guiñada)
Rango controlable: Inclinación	-90° a + 30°
Velocidad angular máxima controlable	Parcela: 90° / s
<b>BATERIA DE VUELO INTELIGENTE</b>	
Capacidad	5870 mAh
Voltaje	15.2V
Tipo de Batería	LiPo 4S
Energía	89.2 wh
Peso neto	468 grs
Rango de temperatura de carga	41° a 104° F (5° a 40° C)
Potencia de carga máxima	160W

*Fuente: Elaboración propia*

### 1.1.3.2.2 Plan de Vuelo

El diseño para el plan de vuelo se realiza en función de la resolución que se espera obtener, del tipo de terreno, ubicación, condiciones meteorológicas como velocidad del viento y extensión de zona pedida en el estudio.

Se realiza un plan de vuelo especificando recorridos con waypoints, los cuales definen la ruta que sigue el dron capturando imágenes aéreas. Para delimitar la zona, se usa el software libre Google Earth donde se crear el polígono de vuelo en formato kml, este archivo se carga en el software Drone Deploy para ejecutar la ruta. Como parámetros usados para el cálculo del plan de vuelo y resolución de imagen, se configura un solape del 70% tanto horizontal/lateral como vertical, dirección de vuelo en grados según la orientación del pavimento, velocidad de vuelo de 15m/s y una altura de 20 metros.

Figura 1.4: Plan de vuelo



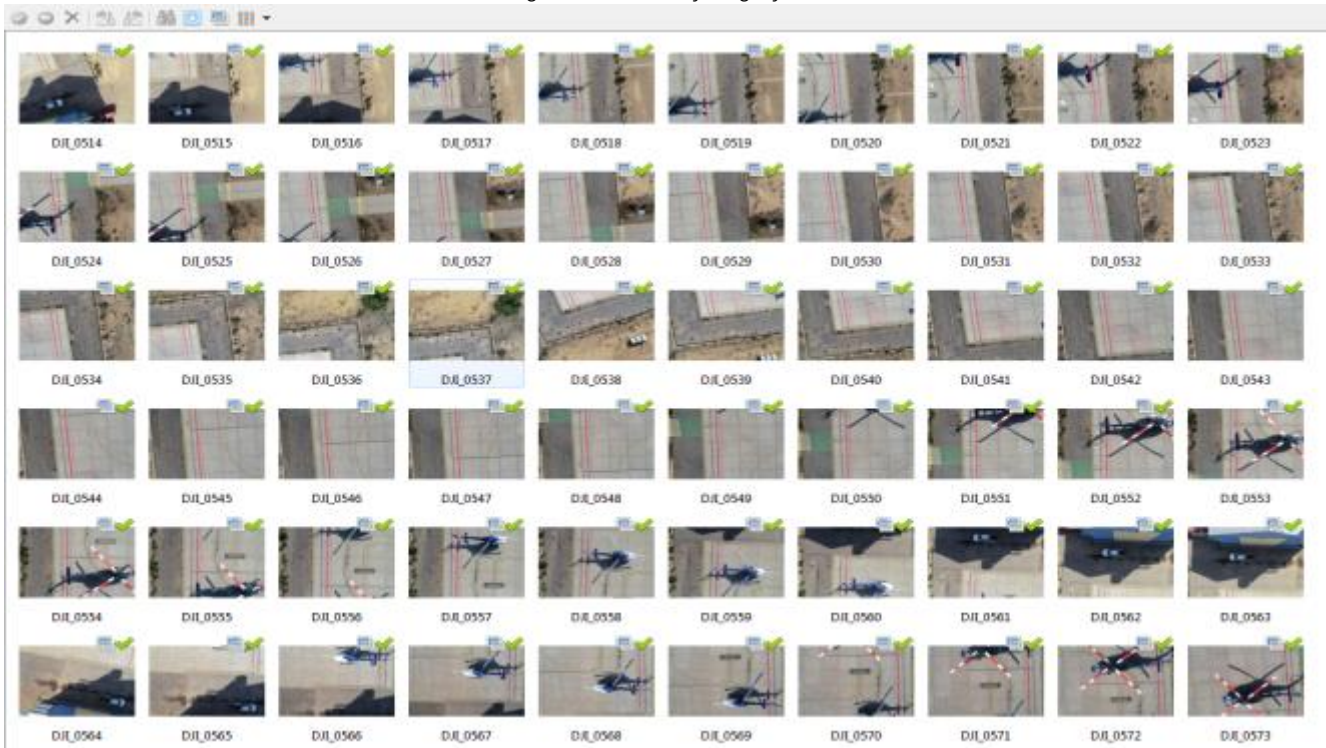
Fuente: Elaboración propia

#### 1.1.3.2.3 Toma Fotográfica y Proceso Fotogramétrico

Las imágenes se obtienen de acuerdo al vuelo planificado. Se registra una imagen por cada punto waypoint programado. Las imágenes se guardan en la memoria de almacenamiento de la cámara. Finalizando el vuelo, se hace la descarga de datos de telemetría de vuelo e imágenes para su procesamiento.

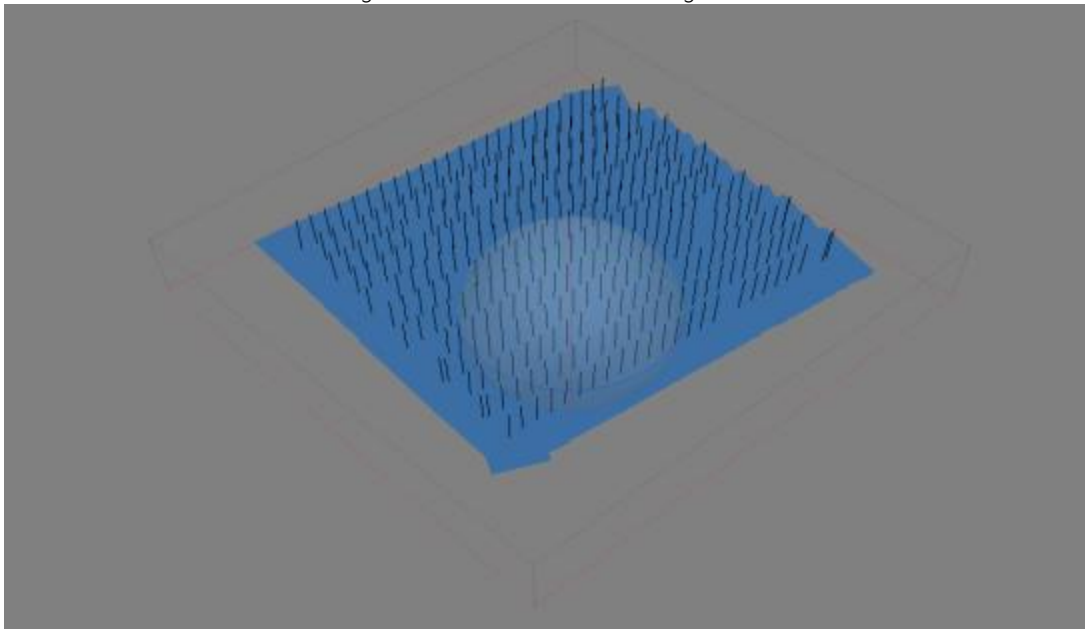
Tomadas las fotografías con los parámetros asociados y configurando el sistema de coordenadas, se realiza el cálculo de los parámetros de orientación externa de cada una de las fotografías. Esta solución se consigue mediante el software Agisoft Metashape; un software utilizado para la creación de modelos 3D de alta calidad, basado en la tecnología de reconstrucción 3D Multivisión que soluciona los parámetros de orientación interna y externa de la cámara. Posteriormente, a través de un algoritmo propio, encuentra las ubicaciones de las cámaras aproximada, las ajusta y luego reconstruye la superficie. Al final, se parametriza la superficie del modelo, asignando a cada parte de la malla un trozo de imagen, creando así un mapa de textura.

Figura 1.5: Toma fotográfica



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.6: Alineamiento de imágenes



Fuente: Elaboración propia

#### 1.1.3.2.4 *Ortomosaico*

Para la generación del mosaico, se procesa la malla de triángulos (mesh), que constituye el modelo digital de superficie (DSM), basado en los puntos de la nube densificada, formando un triángulo cada terna de puntos convenientemente posicionados en el espacio, de manera que en las mismas coordenadas (N,E) puedan coexistir valores de Z. Este modelo de superficie se emplea para definir objetos con formas complejas, como árboles, antenas, que sobresalen del terreno.

Terminando el proceso, se genera el producto final en forma de ortomosaico, el cual es el resultado de la fusión de las imágenes proyectadas en el plano XY, sin que haya discontinuidad en las fronteras entre dos imágenes consecutivas. La ortoimagen quedará proyectada en el sistema WGS84 con coordenadas UTM.

*Figura 1.7: Ortomosaico*



*Fuente: Elaboración propia*

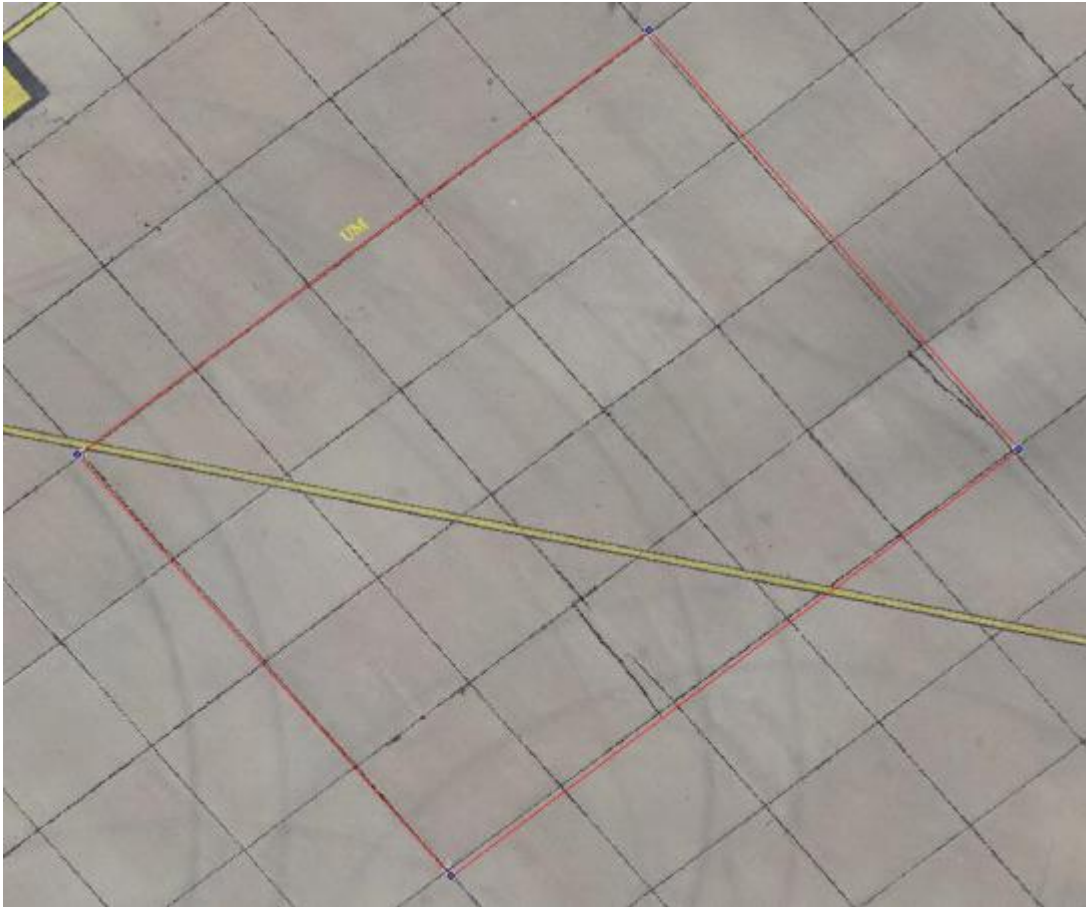
#### 1.1.3.3 Medición de la condición del pavimento

El sistema de medición a utilizar será el de índice PCI (Pavement Condition Index), desarrollado por el U.S Army Corps of Engineers, y el software MICRO PAVER y de acuerdo a ASTM D 5340-04e1 Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Survey.

Tal como fue mencionado anteriormente, para la evaluación de pavimentos, es clave determinar las secciones y de éstas, las UM a evaluar. Para ello, previo al levantamiento mediante vuelo fotogramétrico, es necesario tener un plano con las divisiones previamente establecidas, con lo que una vez en terreno, se demarcan los borde y numeración de cada UM. Cabe mencionar que, en hormigón, por tener las losas bordes tan definidos y las UM se componen de una cierta cantidad de losas, es que puede darse el caso de únicamente indicar la numeración en el ortomosaico y el cuadrículado de las UM queda definido en forma digital, una vez levantada y ordenadas las fotografías, sin embargo, para cualquier reparación puntual es más fácil reconocer el sector con la marcación en terreno.

Ya con el ortomosaico, se revisan los pavimentos en computadores de la empresa y se ingresan los deterioros, con su severidad, por losa de cada UM a la ficha de inspección, ya sea digital o física, para luego volcar los datos al programa Micropaver y con ello obtener el resultado de la condición del pavimento.

Figura 1.8: Unidad de muestra tipo

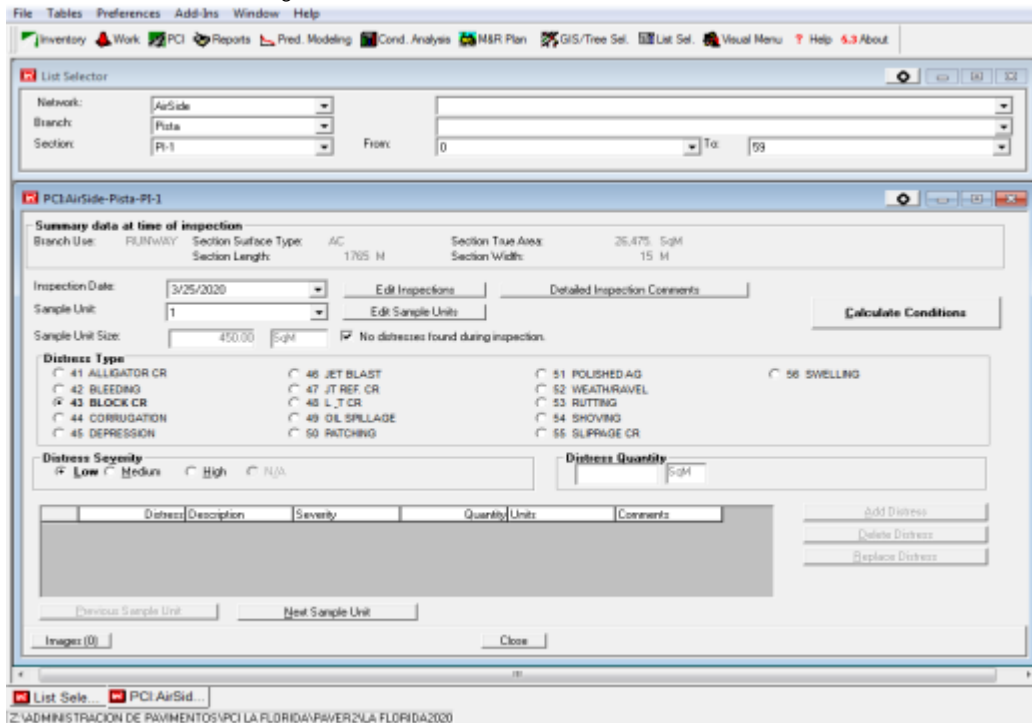


Fuente: Elaboración propia

#### 1.1.3.3.1 Software Micro Paver

Teniendo las tablas de deterioros por UM se introduce esta información al programa Micro Paver del US Army Corps of Engineers, que debe tener previamente ingresado los datos del aeropuerto y sus divisiones de ramas, secciones y UM. Finalmente se obtiene; entre otros datos, el índice PCI por UM y sección.

Figura 1.9: Introducción de datos en Micro Paver



Fuente: Elaboración propia

#### 1.1.3.4 Resultados obtenidos

En las tablas siguientes se muestran los resultados finales de la evaluación realizada para la cancha de prueba de hormigón:

Tabla 1.2: Índice PCI por sección

Secciones	Tipo de pavimento	Área (m <sup>2</sup> )	PCI 2020	SCI 2020	Calificación	UMT
<b>PLATAFORMA</b>						
PL-1	Hormigón	5.760	99	100	Excelente	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.3: Índice PCI por unidad de muestra

Sección	UMI	PCI	Calificación
<b>PL-1</b>	1	100	Excelente
	2	100	Excelente
	3	100	Excelente
	4	100	Excelente
	5	100	Excelente
	6	97	Excelente
	7	98	Excelente
	8	98	Excelente
	9	100	Excelente
	10	100	Excelente
	11	91	Excelente
	12	100	Excelente
	13	100	Excelente
	14	100	Excelente
	15	95	Excelente
	16	100	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.4: Deterioros por unidad de muestra

Sección	Um	Deterioro	Descripción	Severidad	Cantidad	Unidad
PL-1	6	62	Grietas de esquina	B	1	Losas
PL-1	7	74	Astillamiento en juntas	B	1	Losas
PL-1	8	74	Astillamiento en juntas	B	1	Losas
PL-1	11	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	2	Losas
PL-1	15	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	1	Losas

Fuente: Elaboración propia

#### 1.1.4 Cancha De Prueba Pavimento De Asfalto

##### 1.1.4.1 Sección a evaluar

La cancha de prueba para el pavimento de asfalto; al igual que para el de hormigón, fue definida considerando un área que contara con al menos 5000m<sup>2</sup>. Según esto, en el Aeródromo de Viña del Mar, se podía revisar Pista y el rodaje de conexión a plataforma de aviación general. Como esta última zona fue mantenida hace poco, se definió pista como la mejor alternativa, en su parte central, siendo la que posee la mayor cantidad de deterioros y con ello poder verificar de mejor manera la idoneidad de la cancha de prueba.

Luego, por las características de la sección de pista en su parte central de 10m, se vislumbró una diferencia de tratamiento hacia cada lado del eje, por lo que la se subdividió además en 2 secciones centrales, denominadas PI-1 y PI-3, siendo PI-2 los costados (no diagnosticados). Luego la evaluación; indicada por la IF correspondió a las UM 05, 06, 07, 08, 09, 10 y 11 de PI-1 y a las UM 13,14 y 15 de la sección PI-3, lo que se ve reflejado en la siguiente figura esquemática. Cabe mencionar que los colores de cada UM solo se muestran con el objetivo de tener una mejor representación gráfica de cada una de ellas y no tienen ningún significado en términos de valor de PCI. El avance es desde el umbral 05 al 23, lo que en la figura es de izquierda a derecha.

Figura 1.10: Sección de asfalto a evaluar



Fuente: Elaboración propia

#### 1.1.4.2 Levantamiento pavimento de asfalto

En este caso se utiliza un vehículo terrestre de conducción no automática, adaptado con cámaras y láser que captan la información.

La metodología semiautomática para el cálculo del PCI en pistas y calles de rodaje en asfalto se presenta esquemáticamente en la figura siguiente.

Figura 1.11: Metodología semiautomatizada cálculo del PCI



Fuente: Elaboración propia

##### 1.1.4.2.1 *Equipo Laser Crack Measurement System (LCMS)*

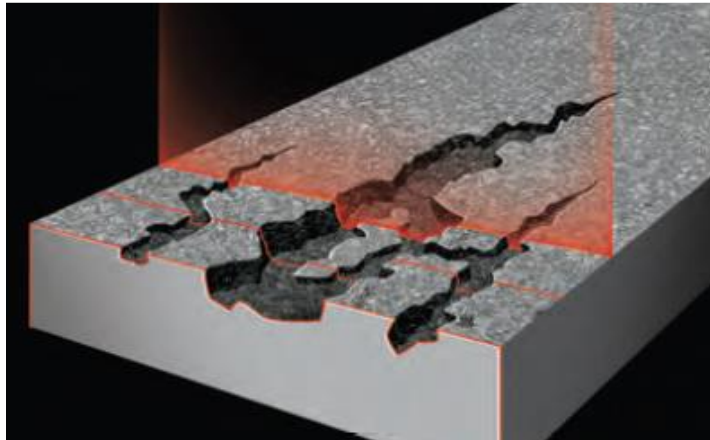
Para registrar los distintos deterioros superficiales se cuenta con un equipo de registro de digital de alto rendimiento el cual permite contar con una imagen de los deterioros superficiales, los que son cuantificados en los registros de inspección. El equipo Laser Crack Measurement System (LCMS por sus siglas en inglés) se encuentra montado en un Furgón.

El objetivo principal de esta inspección es registrar un testimonio visual de los distintos deterioros existentes en la superficie del pavimento mediante imágenes. Las cuales posteriormente permiten identificar el tipo, severidad y extensión de los deterioros, para posteriormente realizar el cálculo del PCI. El equipo utilizado es el LCMS, un equipo que realiza un escaneo en 3 dimensiones a la superficie del pavimento de los defectos que se traducen en:

- Grietas y fisuras
- Bacheos
- Ahuellamientos

Además de su precisión destaca la mínima interrupción de las pistas, pues mide a cualquier velocidad entre 0 y 120 km/hora y en un único recorrido tiene la capacidad de realizar la evaluación de varios indicadores, lo que reduce considerablemente los riesgos en seguridad vial y las molestias a los usuarios.

Figura 1.12: Principio del escaneo en 3D de la superficie del pavimento



Fuente: Elaboración propia

Debido al principio de funcionamiento del equipo, utilización de rayos láser para levantar la información, no es posible realizar trabajos cuando la superficie a evaluar este húmeda o se estén presentando lluvias. Esto debido que el agua interfiere con el láser generando un levantamiento erróneo de la información.

#### 1.1.4.2.2 Cámara de Video

Mediante la instalación de una cámara en la parte delantera del vehículo se obtiene una filmación de la ruta que permite identificar y corroborar el tipo de deterioros presentes en la superficie del pavimento. Este equipo permite obtener una filmación georreferenciada.

Figura 1.13: Cámara de fotogrametría terrestre



Fuente: Elaboración propia

#### 1.1.4.2.3 Toma de Datos

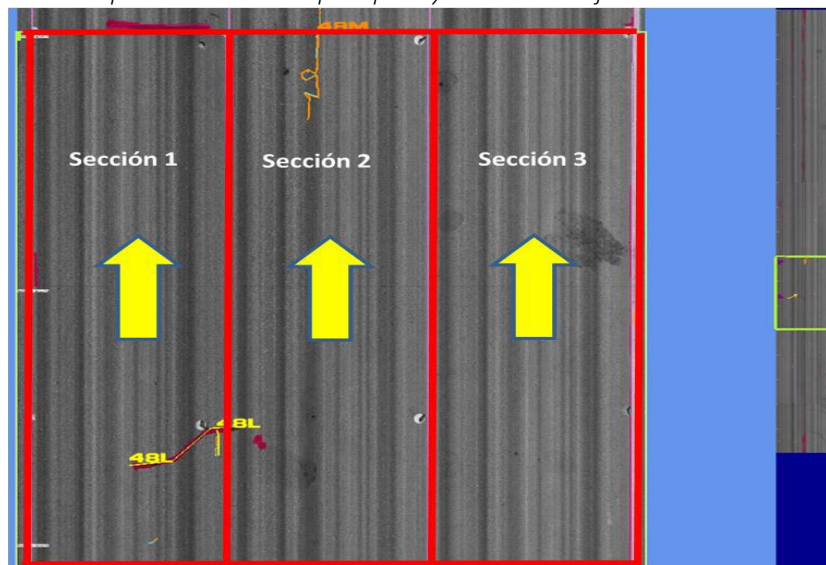
Al igual que en hormigón, previo a realizar las mediciones de terreno se requiere disponer de la definición de las UM. Para el levantamiento de las imágenes se divide la superficie a medir en secciones de ancho 4 metros y el largo correspondiente para cubrir cada UM. En caso de tener UM irregulares se debe delimitar en forma provisoria sobre la superficie del pavimento y sirven como guía para el conductor del vehículo de medición. La delimitación se define previamente ya sea con cintas adhesiva, cono, lenteja u otro elemento. Las secciones posteriormente se traslapan para tener la imagen completa de la UM. A continuación, se expone un esquema de medición en la pista y las calles de rodaje en un Aeropuerto.

Figura 1.14: Medición para pista de una unidad de muestra



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.15: Esquema de medición para pista y calles de rodaje en una unidad de muestra



Fuente: Elaboración propia

Para el levantamiento de la información de deterioros tanto en las calles de rodaje como en la pista, se realiza previa a la medición una definición de la logística general y de cada pasada con el fin de hacer de este trabajo un proceso rápido, eficiente y preciso. En general, y dependiendo del método de referencia utilizado, lo recomendable es partir desde una referencia física bien definida, estas pueden ser la línea del eje o las líneas de borde. La primera opción es hacerlo con referencia en el eje, en este caso se hacen distintas pasadas consecutivas hacia ambos lados del eje. Lo anterior se puede ejemplificar en la figura 1.15 indicando que el eje estaría a la izquierda de la pasada 1 o sección 1. Este proceso se realiza a ambos lados del eje. La segunda opción es tomar como guía la línea de borde, en ese caso se miden secciones partiendo desde el borde hacia el eje. Bajo ese procedimiento, en la misma figura 1.15 la sección 1 estaría continua a la línea de borde y las secciones consecutivas estarían cada una más cerca del eje. Es importante recordar que lo fundamental en este proceso es poder levantar la totalidad de la pista o rodaje y tener una cobertura del 100% de las imágenes, por lo anterior la definición de como se levantarán las distintas secciones es un proceso que se define según la configuración de la pista o calle de rodaje a levantar.

Cada una de las imágenes capturadas se encuentra georreferenciada, lo que garantiza una correcta evaluación de la superficie. El equipo realiza el levantamiento a velocidad comprendida entre los 0 – 100 km/hr lo que considera poco tiempo de intervención en la superficie a medir, además de no obligar a realizar una delimitación o cerramiento total del área medida. A la par de las mediciones se realiza el video frontal, el cual posteriormente ayudará a constatar los deterioros presentes en la superficie.



Previo a la captura de imágenes, se debe marcar con pintura en el pavimento, las unidades de muestra, lo que en este caso de la cancha de pruebas requirió de 2 horas, para toda la pista. Este procedimiento; en general, se debe hacer siempre que se lleva a cabo la inspección PCI, sin embargo, en hormigón, por ser una configuración de bordes definidos la numeración puede indicarse en forma digital, tal como se indicó en ítem 3.3.

Una vez obtenidas las imágenes de los pavimentos se realiza el cálculo del PCI de manera semiautomatizada. A continuación, se describe el paso a paso de este proceso, indicando los softwares y los productos de cada uno de los pasos:

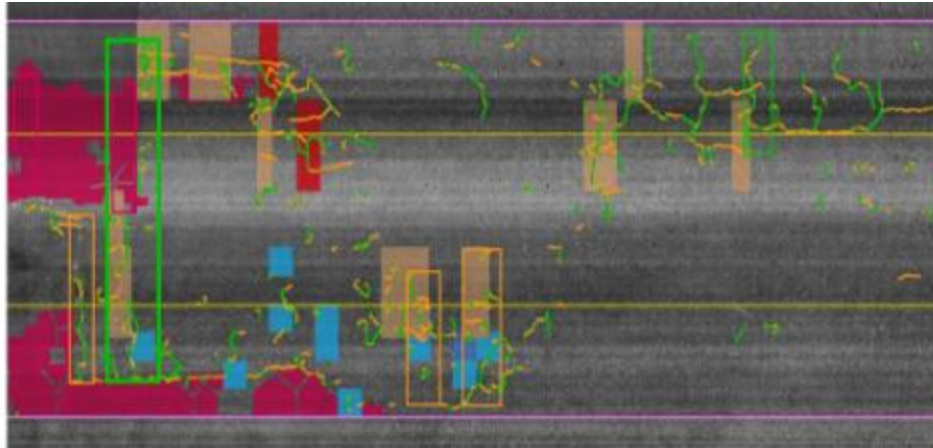
- Procesamiento con Software LCMS. Análisis de reconocimiento automatizado de deterioros (principalmente grietas y deformaciones) con base en el levantamiento en 3 dimensiones de los pavimentos. El software determina la severidad de las grietas de acuerdo al ancho y la tipología según su distribución en el área auscultada. El equipo LCMS es configurado antes de realizar el procesamiento con un archivo de parametrización que define fundamentalmente el nivel de severidad de agrietamientos en baja, media o alta severidad. Luego de esta configuración, el software procede a hacer el cálculo de los distintos tipos de deterioros, entregando resultados de agrietamiento y deformaciones (ahuellamiento).  
En lo que respecta a los archivos de salida del equipo, este, entrega distintos tipos de salidas gráficas. Las que se utilizan en el procedimiento PCI son las del tipo Overlay que trae la información del agrietamiento en escala de colores según la severidad.
- Construcción del Layout completo: una vez obtenidas las imágenes overlay de toda el área a inspeccionar, se procede a unirlos mediante un software de procesamiento fotográfico comercial. Esto se hace con el fin de tener una gran capa con el área completa en forma de fotografía panorámica sobre la cual posteriormente se procederá a delimitar cada UM que será monografiada. El proceso siguiente es delimitar las UM, para lo cual es fundamental contar con el plano en CAD de las UM. En el caso de no contar en la delimitación se puede hacer de manera aproximada definiendo esto mediante un archivo KMZ o KML directo desde Google Earth.
- Montaje de la capa de delimitación sobre la capa fotográfica: Por medio del software Paver se realiza el montaje de la capa de delimitación de las UM y la capa de fotografías. Este software genera un archivo con todos los atributos que es exportable al segundo software de proceso para realizar la monografía.
- Monografía de deterioros: Utilizando el Software Paver Image Inspector, se reconocen manualmente los deterioros presentes en el pavimento para calcular el PCI de aeropuertos y vías de acceso. Es importante resaltar que este software comparte el origen con el software Paver lo que permite migrar los resultados de una manera ágil y rápida, además de garantizar que el cálculo de PCI se realice de acuerdo a los estándares internacionales.

Se denomina metodología semiautomatizada ya que las imágenes se procesarán previamente con el software de reconocimiento de agrietamientos lo que permite identificar de manera exacta cada grieta según su severidad. Una vez realizada esta tarea las imágenes se cargan en el software Paver Image Inspector junto con las imágenes del video frontal para realizar una monografía manual de los deterioros identificados automáticamente completándolos con aquellos que no son detectables de manera automática como lo son por ejemplo los deterioros tipo Jet Blast.

La Figura 1.17 es un ejemplo de cómo se presentan las grietas marcadas según la severidad de las mismas. En este ejemplo, las grietas se clasificaron de acuerdo a los siguientes criterios:

- Grietas de severidad baja: En color verde de 1 a 6 mm de ancho.
- Grietas de severidad media: En color naranja de 6 a 18 mm de ancho.
- Grietas de severidad alta: En color rojo mayores a 18 mm de ancho o mayores a 6 mm y que puedan generar FOD.
- Rectángulos color rojo: Piel de cocodrilo.
- Rectángulos color Fucsia: Desprendimientos de áridos severidad media.
- Rectángulos color azul: Desprendimientos de áridos severidad baja.
- Líneas verticales amarillas y fucsias guías para el proceso de evaluación

Figura 1.16: Ejemplo imagen con detección de deterioros en pavimento flexible

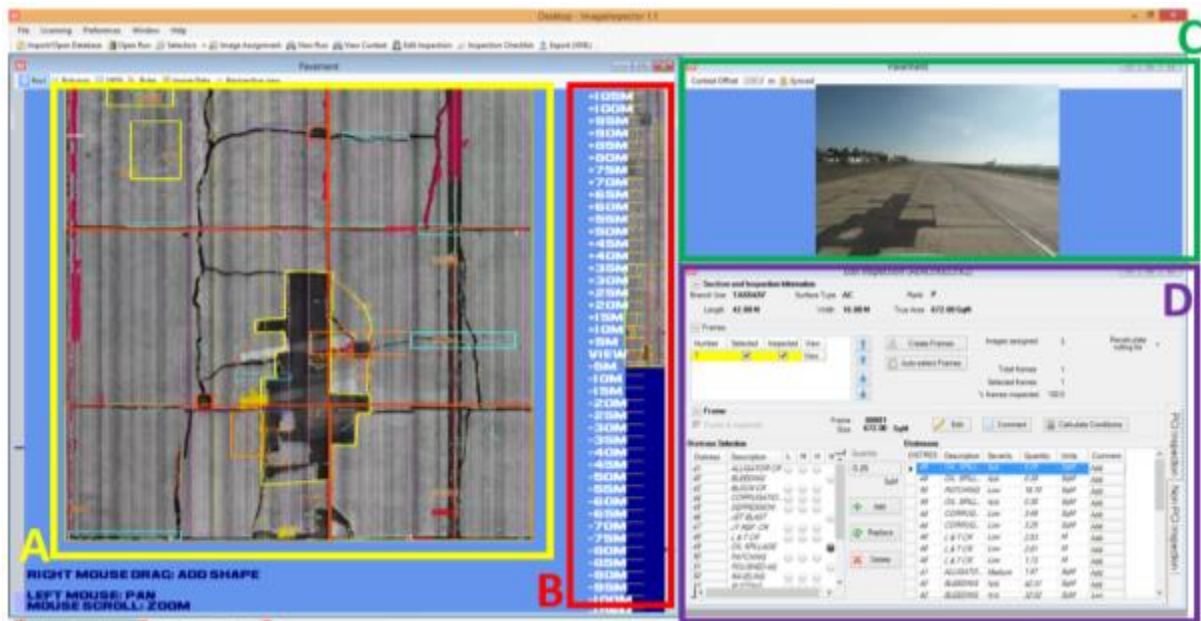


Fuente: Elaboración propia

Estos criterios para clasificar severidad pueden ser distintos según requerimiento de cada proyecto. Del mismo modo, los anchos y los colores empleados para resaltar las grietas se definen según requerimiento del mandante para facilitar el cálculo posterior de PCI con el software especializado. Una vez las imágenes se encuentran con los deterioros marcados según su severidad se realiza la monografía de deterioros empleando el software Paver Image Inspector.

En la figura 1.18 se presenta el escritorio del software Image Inspector sobre un proyecto genérico. Se puede observar en el costado izquierdo (rectángulo amarillo A), la imagen previamente procesada por LCMS, lo que facilita el reconocimiento de algunos deterioros. Inmediatamente al costado derecho (rectángulo en rojo B) se muestra el layout completo de toda la pista o calle de rodaje levantada con la leyenda VIEW, se muestra la sección que se tiene a la vista. En la parte superior derecha (rectángulo verde C), se presenta la imagen del video frontal tomado en el momento de la medición, esta imagen es georreferenciada, al igual que la imagen de LCMS, por lo tanto y como se puede apreciar, ambas coinciden espacialmente, esto facilita el reconocimiento de algunos deterioros que no son identificados automáticamente por LCMS. Finalmente, en la parte inferior derecha (rectángulo morado D), se tiene el menú necesario para marcar manualmente los deterioros que definirán el nivel de PCI de la Unidad de Muestra respectiva.

Figura 1.17: Software Paver Image Inspector



Fuente: Elaboración propia

### 1.1.4.3 Medición de la condición del pavimento

Una vez que se ha determinado la monografía de daños completa en Image Inspector se determina el PCI por cada UM, se genera un archivo de proceso xml que se exporta al software Paver, con el cual se vuelve a cruzar la información geográfica y se asigna a cada UM la monografía de daños y el valor del PCI de cada una de ellas. En esta etapa se pueden generar distintos reportes, en forma de tablas y también en forma gráfica.

Queda claro que la medición del pavimento asfáltico implica una dificultad extra en comparación a la inspección de hormigón. En esta última bastará con reconocer el tipo de defecto y severidad dentro de una losa, no necesitando indicar su longitud o área afectada, lo que induce que el post proceso de reconocer los defectos; luego de armar la ortofoto; es simple. Así mismo, el color del pavimento de hormigón es más claro en comparación con un pavimento de asfalto, por lo que los deterioros son identificables a simple vista a la altura a la que se toman las fotografías para este proceso.

Para el caso del pavimento asfáltico, el post proceso de reconocimiento de daños involucra mayor dificultad, tanto para el cálculo de áreas afectadas, como para definir las severidades de los deterioros, los que deben identificarse y contabilizarse en forma separada de acuerdo a su magnitud, severidad, tipo, no bastando; como en el caso del hormigón, indicar que únicamente existen. Es por ello, que se hace más necesario un post proceso automatizado o semiautomatizado, que ayude con la complejidad de identificar y medir los defectos presentes en el pavimento en estudio con igual criterio como si el diagnóstico se realizara in situ.

#### 1.1.4.3.1 *Consideraciones Particulares Cancha de Prueba*

Luego del marcado de las UM en terreno según metodología normalizada y con el fin de mejorar la identificación de cada una de ellas, se procedió a demarcar con cinta de papel autoadhesiva el inicio de cada UM. Este procedimiento solo será aplicado en la prueba, pues con las marcas de pintura será suficiente para el levantamiento de los otros aeropuertos de la red.

Es importante recordar que el equipo es capaz de medir un ancho efectivo de entre 3,5 y 4 metros. Por lo tanto, en este caso se definen dos pasadas del equipo al lado derecho de la pista y 2 pasadas al lado izquierdo. Esto con el fin de poder levantar los 5 metros de ancho de cada UM y permitir un traslape suficiente para evitar que queden áreas sin levantar.

Ya que el equipo capta de manera continua la información, se definió que la mejor forma para levantar las UM fue ejecutar pasadas continuas a todo el largo de la pista (situación que será lo real en los aeropuertos de toda la red). Como procedimiento de referencia se define un único punto de inicio de cada pasada, correspondiente a una línea en el inicio de la pista. Esto se puede materializar de manera física con alguna referencia existente, como pintura de demarcación u otro elemento físico. Este procedimiento es fundamental para luego en el procesamiento tener un punto de referencia único para cada pasada, lo que permitirá montar el layout completo del área levantada. A continuación, se muestra la línea de referencia (en rojo), desde la cual partieron todas las pasadas.

*Figura 1.18: Línea de referencia de inicio de mediciones*



*Fuente: Elaboración propia*



#### 1.1.4.4 Resultados obtenidos

En las tablas siguientes se muestran los resultados finales de la evaluación realizada para la cancha de prueba de asfalto. Cabe mencionar que a diferencia del hormigón donde se evaluó en forma íntegra una sección completa, era propio indicar el PCI por UM y por sección. En Asfalto, considerando que se evaluaron 3 UM de una sección y 7 UM de otra, de un total de 18 UM c/u, es que no tiene incidencia indicar el PCI de la sección completa, ya que no sería un resultado confiable por el número de UM inspeccionadas.

Tabla 1.5: Índice PCI por unidad de muestra

Sección	UMI	PCI	Calificación
PI-1	5	67	Bueno
	6	79	Muy Bueno
	7	72	Muy Bueno
	8	69	Bueno
	9	72	Muy Bueno
	10	73	Muy Bueno
PI-3	11	69	Bueno
	13	80	Muy Bueno
	14	58	Bueno
	15	71	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.6: Deterioros por unidad de muestra

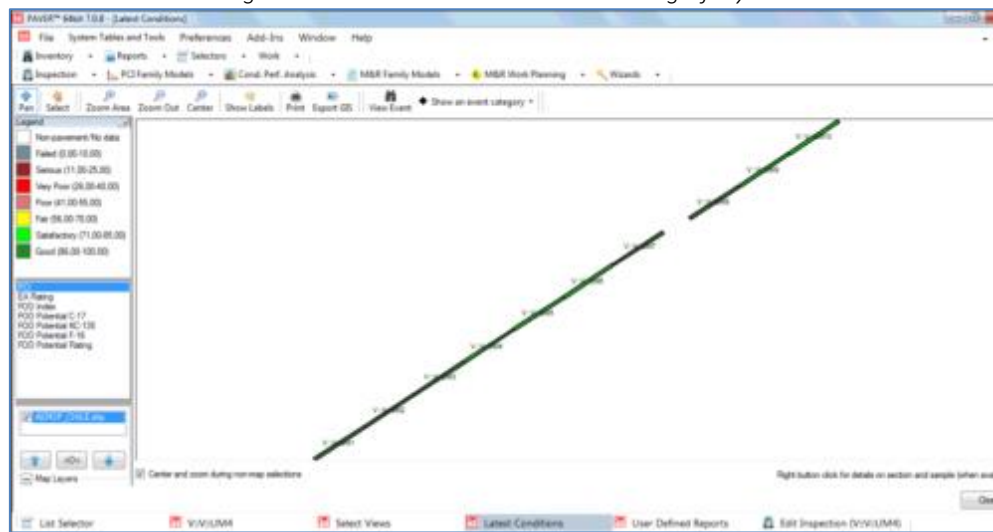
Sección	Um	Deterioro	Descripción	Severidad	Cantidad	Unidad
PI-1	5	41	Grieta piel de cocodrilo	B	0,58	m2
	5	48	Grieta longitudinal y transversal	M	4,81	m
	5	48	Grieta longitudinal y transversal	B	113,93	m
	6	41	Grieta piel de cocodrilo	B	1,45	m2
	6	48	Grieta longitudinal y transversal	M	5,16	m
	6	48	Grieta longitudinal y transversal	B	86,35	m
	7	41	Grieta piel de cocodrilo	B	0,45	m2
	7	48	Grieta longitudinal y transversal	M	4,81	m
	7	48	Grieta longitudinal y transversal	B	73,86	m
	8	41	Grieta piel de cocodrilo	B	1,25	m2
	8	48	Grieta longitudinal y transversal	M	18,03	m
	8	48	Grieta longitudinal y transversal	B	78,78	m
	9	41	Grieta piel de cocodrilo	B	1,48	m2
	9	48	Grieta longitudinal y transversal	M	6,63	m
	9	48	Grieta longitudinal y transversal	B	69,69	m
PI-3	10	41	Grieta piel de cocodrilo	B	0,35	m2
	10	48	Grieta longitudinal y transversal	M	1,76	m
	10	48	Grieta longitudinal y transversal	B	82,77	m
	11	41	Grieta piel de cocodrilo	B	0,88	m2
	11	48	Grieta longitudinal y transversal	M	5,67	m
	11	48	Grieta longitudinal y transversal	B	95,54	m
	13	41	Grieta piel de cocodrilo	B	1,37	m2
	13	48	Grieta longitudinal y transversal	B	71,54	m
	14	41	Grieta piel de cocodrilo	B	1,53	m2
	14	48	Grieta longitudinal y transversal	A	2,94	m
	14	48	Grieta longitudinal y transversal	M	5,96	m
	14	48	Grieta longitudinal y transversal	B	149,87	m
15	41	Grieta piel de cocodrilo	B	0,52	m2	
15	48	Grieta longitudinal y transversal	M	10,12	m	
15	48	Grieta longitudinal y transversal	B	129,89	m	

Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista gráfico es posible generar el archivo shape de cada UM y mostrar en escala de colores el nivel de PCI.

La figura siguiente muestra el escritorio de Paver con la capa gráfica del PCI. Para el caso de nuestra prueba se puede apreciar que los resultados de las 10 UM indican una condición excelente o muy buena según la escala de PCI.

Figura 1.19: Tabla de resultados de monografía y PCI



Fuente: Elaboración propia

Esta salida gráfica también es posible exportarla a CAD o a un KMZ. En este segundo caso cada UM queda con los datos del cálculo del PCI y esto se puede ver directamente sobre la planimetría del aeropuerto o el área de inspección específica. La figura siguiente muestra la exportación del archivo .shape a KML. Se puede apreciar en color verde oscuro un PCI excelente y en verde claro PCI muy bueno. Además, se muestran los atributos de cada UM al pinchar sobre ella.

El software Paver (o FAA Pavair software web gratuito) permitirá hacer gestión sobre los datos del PCI, esto por medio de la generación de una base de datos que guarda la información de cada UM en el tiempo y permite hacer progresiones del deterioro en el tiempo, entregando una herramienta interesante para el armado de los planes de conservación de los pavimentos.

Figura 1.20: Salida gráfica de resultados PCI en Google Earth



Fuente: Elaboración propia



## 1.2 METODOLOGÍA Y POLÍTICA DE CONSERVACIÓN

### 1.2.1 Introducción

Este capítulo viene a plantear una Metodología y Política de Conservación para los pavimentos de los aeropuertos en estudio.

### 1.2.2 Metodología Y Política De Conservación

De acuerdo a lo solicitado en el ítem 5.1.2 de los Términos de Referencia, para la Etapa N°1 del Estudio, se desglosa a continuación cada uno de los puntos allí descritos.

#### 1.2.2.1 Predicción del comportamiento futuro del pavimento

##### 1.2.2.1.1 *Análisis de Modelos*

La dificultad que se observa a nivel cualitativo de los datos, corresponde al banco de datos histórico y a la estandarización en el proceso de manejo de la documentación con respecto a los estudios y trabajos de rehabilitación o conservación de los pavimentos históricos.

Los procedimientos de recopilación y almacenamiento de datos son imprescindibles para implementar un sistema de gestión de los pavimentos que incluya los parámetros de evaluación (coeficiente de fricción, deflexiones, índice de condición de los pavimentos, perfilometría, observaciones visuales), junto con sus condiciones geométricas, condiciones climáticas, usos, entre otros.

Es necesario gestionar un almacenamiento virtual, que mantenga actualizada la situación de cada aeropuerto en lapsos de tiempo menores, que permitan una rápida toma de decisiones. Este almacenamiento debe contener no solo resultados de ensayos y auscultamiento de los pavimentos, debe ser actualizado en relación a los mantenimientos, mejoras y ampliaciones de las zonas de área de movimiento.

El Sistema permitiría a los responsables de los mantenimientos en los aeropuertos a tomar decisiones acerca del mejoramiento de los pavimentos, basado en las necesidades a corto o largo plazo, justificado y documentado, evaluando la rentabilidad de las alternativas y estrategias que conduzca a un uso de los recursos económicos con mayor eficacia.

Los procedimientos permiten estandarizar y facilitar un trabajo coordinado a través del responsable de la gestión, de fácil aplicación, a llevar registro de las diferentes acciones y tomar decisiones durante el ciclo de vida de los pavimentos.

##### 1.2.2.1.1.1 Codificación de entrada

Para poder generar un organigrama de almacenamiento de datos de los pavimentos, es necesario generar una codificación estandarizada de la información, tanto como de los aeropuertos, como las áreas de uso, las secciones características y las Unidades de Muestra, por ejemplo, datos PCI para el caso de Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta:

1. La codificación tiene que ser universal para clasificar por nombre. Código OACI: - SCFA
2. El uso del pavimento, se debe codificar según sea el caso en ramas:
  - Pista (PI)
  - Margen (MPI)
  - Rodaje Alfa (RA)
  - Plataforma (PL), etc.
3. Las secciones dentro de cada rama se anotarán en sistema numérico dentro de un signo de puntuación: - [1], [2], [3]...
4. Las Unidades de Muestra de cada sección solo se indicarán con sistema numérico: - 01, 02, 03...

De este modo la información puede quedar inventariada y estandarizada.



#### 1.2.2.1.1.2 Recopilación de datos

Conociendo la designación estándar para comenzar a almacenar los datos, se continúa con el almacenamiento de los datos puntuales, característicos e inherentes a cada aeropuerto/aeródromo y la condición según inspecciones:

##### 1. *Geometría de los pavimentos*

Se verificarán las características geométricas de cada elemento, manteniendo actualizada la información. Se incluirá información de topografía, si la hubiere.

##### 1. *Estructura de los pavimentos*

Se incluirán los estudios de mecánicas de suelo, que además de verificar estratigrafía, se puede determinar la estructura con la que están contruidos los elementos. Se incluirá la información entregada con georadar de no existir precisión de la estructura genérica del pavimento.

##### 2. *Condición de servicio*

Una vez determinadas las secciones, se incluirán los valores resultantes de las inspecciones que se realicen en los pavimentos, según sea el método de diagnóstico. Se podrán incluir los deterioros y los resultados PCI históricos, valores de coeficiente de roce, y los valores de perfilometría, para generar un inventario mayor.

#### 1.2.2.1.2 Familias

Finalmente, y para generar un análisis cualitativo de la información, es importante generar familias afines que permitan comparar la información que previamente se habrá ingresado.

1. Tipo de Pavimento: Principalmente seccionar la materialidad del pavimento, ya sea asfalto u hormigón.
2. Medioambientales: Las características medioambientales dentro de las variables, son consideradas fundamentales para el análisis en el comportamiento de los pavimentos. Cada variable en sí, puede ser decisiva en los pavimentos, según la ubicación geográfica de éste. Chile, al ser un país extenso y angosto, cuenta con variaciones extremas en cada caso, provocando comportamientos físicos y químicos en los pavimentos (incluso en menor medida el comportamiento biológico en la zona aeroportuaria en sí, pero es una variable no cuantificable en este análisis), lo que conlleva a los deterioros.
  - Temperaturas: En zonas extremas, las temperaturas pueden congelar las capas granulares, incluso las asfálticas, generando un hinchamiento de estos. Además de ello, las variaciones extremas de temperatura en el día pueden provocar contracción y dilatación de los pavimentos, lo que puede conllevar un empuje hacia las zonas aledañas.
  - Precipitaciones: El agua superficial contribuye en la oxidación del asfalto, más aún cuando ingresa por los poros de la capa, sin embargo, el mayor efecto destructivo se manifiesta en forma combinada con las cargas del tráfico, ya que, el agua alojada en las fisuras del pavimento por efecto de la presión de los neumáticos, genera una presión de vacíos que gradualmente destruye el pavimento asfáltico.
  - Radiación Solar: En zonas donde la radiación solar es elevada, los agentes químicos atacan directamente a la composición asfáltica, modificando su composición física y mecánica, llegando a la rigidización que provoca la fragilidad de estos. Factor principal que genera grietas en bloque.
3. Diseño Estructural: La estructura asociada a cada sección del área de movimiento de los diversos aeropuertos, han sido calculados de acuerdo a la normativa vigente del año en que se desarrollaron los proyectos y de acuerdo a la composición de los suelos de emplazamiento y a las cargas solicitantes, pero de igual modo, es una variable importante de comparar, ya que puede mostrar cómo se comportarían otras estructuras de similares dimensiones ante misma cantidad de carga.

4. Tráfico o número de operaciones: Cada aeropuerto/aeródromo debiese contar con historial de operaciones que permitan generar una proyección de operaciones en el tiempo que permitan asociar estructuras para estas proyecciones. De igual modo, se debe asociar el tráfico al uso del pavimento, es decir, el número de operaciones varía según si la aeronave se encuentra en pista, rodaje o plataforma. Las cargas, la velocidad y la frecuencia no son las mismas según el sector.

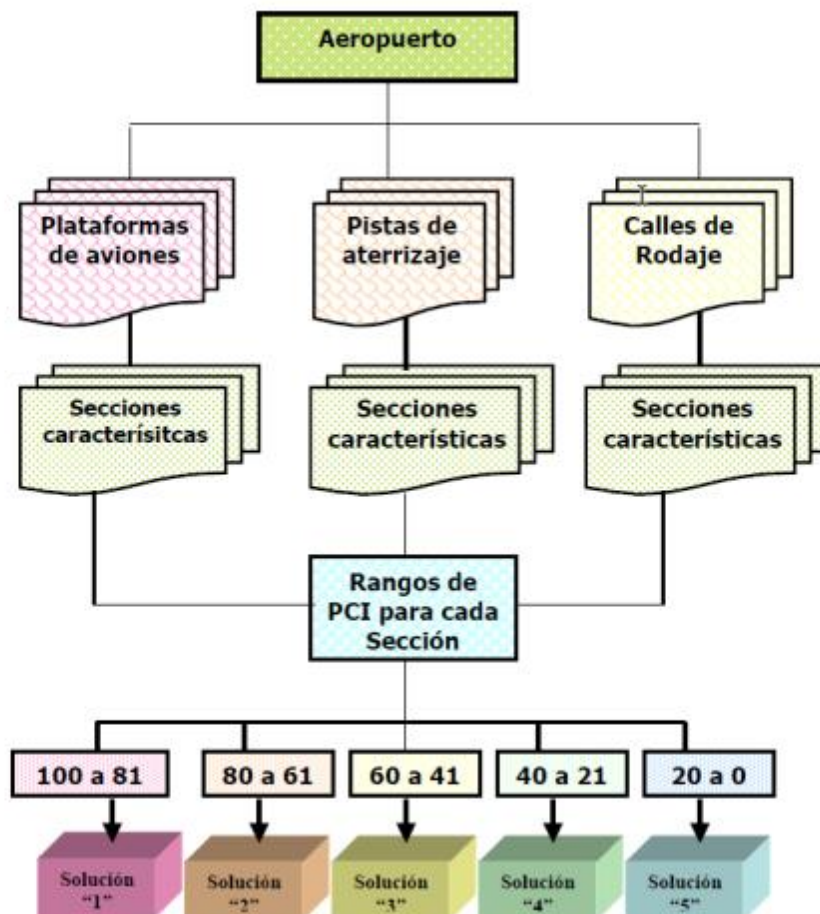
La edad de los pavimentos se deja fuera de este análisis de agrupación de familia, ya que se considera una variable independiente

Si bien, cada zona en el país cuenta con condiciones distintas, es importante generar familias que permitan la comparación entre aeropuertos/aeródromos de similares características, antes nombradas.

El almacenamiento temprano y actualizado de la información junto con el análisis comparativo de datos históricos, puede entregar valiosa información de comportamiento de pavimentos en similares condiciones.

Un ejemplo de organigrama de toma de decisiones, es el que se presenta a continuación:

Figura 1.21: Organigrama Toma de decisiones



En análisis contempla la comparación entre mismas zonas del área de movimiento de toda la red aeroportuaria, que a su vez compara secciones con rango de PCI similares, permitiendo replicar el correctivo antes aplicado, a los futuros



pavimentos a los que se les desea gestionar una solución proyectada a tiempo, optimizada, que reduzca los costos antes de verse mayormente afectada.

Cabe destacar, que existe un nivel mínimo de servicio que debe adoptar la entidad encargada de las mantenciones aeroportuarias, en este caso la Dirección de Aeropuertos. A partir de dicho nivel en base a calificación PCI se gestiona una única solución viable, que corresponde a una conservación mayor total del área afectada, ya que se ha comprobado que las soluciones localizadas a partir de este rango no son efectivas y el índice continúa en descenso. Por ello el esquema anterior, es solo a modo de ejemplo, ya que en ninguna circunstancia se llegará a alcanzar un índice inferior alrededor de PCI 60 para considerar su reconstrucción, ya que se presta a una mala operatividad de la sección afectada.

#### 1.2.2.2 Criterios y políticas de conservación

De acuerdo a la información recopilada y experiencia de este consultor, las políticas de mantenimiento que actualmente tiene implementada la Dirección de Aeropuertos en base a conservaciones localizadas de emergencia y rutinarias, conservaciones globales preventivas y conservaciones mayores, se ajustan a las directrices de un buen plan de gestión de pavimentos. Estas se encuentran ligadas a la determinación; mediante inspecciones, del reconocimiento de los daños que afectan a la superficie y las estrategias de reparación.

La habilidad de reconocer la severidad de los defectos y predecir su aumento en el tiempo, convergen en la adaptación adecuada de las cantidades de reparación para detener los efectos nocivos de los daños, además de identificar como dichos trabajos aumentan la vida útil de los pavimentos.

Como es sabido, los pavimentos pueden ser afectados por un grupo de aproximadamente 30 deterioros (en conjunto para pavimentos de asfalto y hormigón). Algunos de mayor o menor presencia en las estructuras del país. La forma de reparar estos defectos; al considerar su mantención en forma puntual, depende de la naturaleza, del tipo de superficie y su severidad.

La bibliografía vigente aporta variada información de la descripción de los deterioros y el origen de estos. Se tiene por ejemplo la normativa AC 150/5380-6C Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements-FAA, donde tal como su nombre indica, está enfocada a las directrices y procedimientos para el mantenimiento de pavimentos de aeropuertos según el tipo de superficie, asociada a potenciales causas del problema. De igual forma, en el mismo camino, se tiene la AC1 150/5320-17A Airfield Pavement Surface Evaluation and Rating Manuals, que en conjunto con sus anexos para pavimentos de asfalto y hormigón señala los daños potenciales y en base a la conjugación de todos ellos, según estén presentes en la superficie evaluada, es que se determinan 5 niveles de calificación del pavimento y la recomendación de reparación.

Sin embargo, a lo anterior, y tal como dicha normativa lo declara, para aplicar un programa de gestión de pavimento como tal, será necesario el reconocimiento detallado del pavimento, en forma sistemática y repetible, que aporte las directrices no solo de diagnóstico sino de pronóstico, que lleva a determinar la mejor alternativa de reparación y el tiempo en el cual hacerlo, maximizando beneficios por la vida útil del pavimento y minimizando los costos. En base a ello, recomiendan el procedimiento en base al método PCI (Pavement Condition Index); aprobado por la FAA y descrito en AC 150/5380-7B Airport Pavement Management Program (PMP) y ASTM D5340, que clasifica el estado de la superficie del pavimento y predice su comportamiento probable estadístico en base a los daños registrados en el tiempo. Mientras mayor cantidad de registros se tengan, mayor será la confiabilidad de la proyección, que puede ser asociada a pavimentos de iguales características, como ya fue explicado en ítem anterior.

En la actualidad existen algunos softwares que asocian la auscultación de los pavimentos, mediante deterioros previamente establecidos, su cantidad y severidad, el ya mencionado índice PCI. Dentro de estos softwares se destaca el utilizado comúnmente en Chile denominado MicroPaver. Adicionalmente, éste software tiene asociado en forma estándar para cada defecto con su nivel de severidad un tipo de reparación. Tanto el alcance de la determinación del índice PCI como de las reparaciones están asociadas a toda la normativa vigente y múltiples ensayos de correlación de daños con el estado de los pavimentos y su vida útil.



Se tiene conocimiento que la Dirección de Aeropuertos aplica esta recomendación estándar del programa para sus políticas de mantenimiento, siendo; a juicio de este consultor, acertadas ya que han aplacado en general los avances de los daños presentes.

Para definir o validar los criterios de conservación, se debe tener claridad del valor esperado mínimo del pavimento sobre el cual se estima que ha perdido su capacidad óptima de operación. Este valor es designado por la entidad que se encarga del mantenimiento y se entiende como el mínimo nivel de servicio en base al índice PCI (PCI Crítico). A menor nivel de servicio estipulado, mayor es la vida útil del pavimento considerada, toda vez que su reconstrucción o conservación mayor es retrasada. Esto es que, según el índice límite, si este es menor, se espera mayor tiempo para su reconstrucción, existiendo mayor cantidad de deterioros para declarar que cumplió su vida útil.

El concepto de PCI crítico, se basa en que es más económico mantener los pavimentos sobre el PCI Crítico, que bajo éste. El PCI Crítico se define como el valor del PCI en el cual la tasa de pérdida de valor del PCI aumenta con el tiempo, o el costo de aplicar políticas de mantenimiento localizadas preventivas aumenta significativamente. Es el valor del PCI después del cual el pavimento comienza a deteriorarse rápidamente. Se entiende que el índice crítico será la clasificación de una sección completa que mantiene características similares y no para una unidad de muestra (UM) dentro de una sección que pueda estar defectuosa en forma puntual.

Pueden plantearse diferentes niveles de servicio, según tipo de aeropuerto o ubicación de los pavimentos. Asignando; por ejemplo, mayor nivel de servicio a las pistas y menor a plataformas.

En este contexto la Dirección de Aeropuertos ha designado un valor de 65 como un único valor de PCI crítico<sup>1</sup>, bajo el cual es necesario contemplar un mantenimiento mayor para cualquier sea la zona dentro del área de movimiento y el aeropuerto evaluado. Considerando que para que un pavimento tenga ese índice, debe tener gran cantidad de daños, se mantiene dicho nivel. A continuación, se indican las clasificaciones del índice PCI:

Tabla 1.7: Rangos PCI

Rango PCI	Clasificación Pavimento	Clasificación Pavimento DAP
86-100	Excelente	Adecuado
71-85	Muy Bueno	
56-70	Bueno	En degradación
41-55	Regular	Insatisfactorio
26-40	Malo	
11-25	Muy Malo	
0-10	Falla	

Fuente: Elaboración Propia

Según esta clasificación, se determina que en la mitad del rango "Bueno", el pavimento tendrá una cantidad de daños tal que hará necesaria su reconstrucción. Cabe destacar que los daños estructurales son mucho más perjudiciales que los asociados a clima, edad o constructivos superficiales, por lo que podrán existir secciones con una alta cantidad porcentual de daños no estructurales y tener un índice moderado y viceversa una sección con menor cantidad de daños, pero estructurales y esta última tenga un índice inferior.

A continuación, se describen los diferentes trabajos, de acuerdo a la necesidad de mantenimiento, pudiendo recomendar en forma puntual cambios en algunas de ellas, por experiencia de este consultor.

#### 1.2.2.2.1 Conservación Rutinaria

##### 1.2.2.2.1.1 Localizado de emergencia

Es la reparación de los deterioros existentes, para mantener el pavimento operativo en forma segura. Se aplica a todos los pavimentos del aeropuerto. En general se consideran daños de emergencia los de Alta severidad.

<sup>1</sup> Indicado en Plan de Mantenimiento Infraestructura Horizontal para Aeropuertos Concesionados.



Estos trabajos en sí no son predecibles en el tiempo ni ha de esperarse el diagnóstico de PCI para su detección. Pueden considerarse fuera del alcance de un plan de gestión de mantenimiento, ya que no ocurren en forma sistemática ni en forma repetida y la intervención debe ser inmediata, no pudiendo ser ingresada a un plan presupuestario. Se recomienda que, para este tipo de conservación, el encargado del aeropuerto contemple visitas periódicas para detectar este tipo de daño y que se dispongan de trabajos inmediatos.

A continuación, se indica la política de mantenimiento localizada de emergencia:

Tabla 1.8: Política de Mantenimiento Localizada de Emergencia Pavimentos Aeronaves

POLÍTICA DE MANTENIMIENTO LOCALIZADA DE EMERGENCIA PAVIMENTOS PARA AERONAVES					
DETERIORO	SEVERIDAD	DESCRIPCIÓN	TIPO DE TRABAJO	CÓDIGO	UNIDAD
41	Alto	Piel de Cocodrilo	Bacheo Asfáltico Profundo	PA-AD	m2
43	Alto	Grietas en Bloque	Sello Grietas	CS-AC	m
45	Alto	Depresiones	Bacheo Asfáltico Profundo	PA-AD	m2
47	Alto	Grieta de Reflexión	Sello Grietas	CS-AC	m
48	Alto	Grietas Long, Transv	Sello Grietas	CS-AC	m
50	Alto	Bacheos o Parches	Bacheo Asfáltico Profundo	PA-AD	m2
52 <sup>2</sup>	Alto	Erosión Superficial	Bacheo Asfáltico Superficial	PA-AS	m2
53	Alto	Ahuellamiento	Bacheo Asfáltico Profundo	PA-AD	m2
54	Alto	Protuberancia Asf/Horm	Bacheo Asfáltico Superficial	PA-AS	m2
56	Alto	Hinchamiento	Bacheo Asfáltico Profundo	PA-AD	m2
61	Alto	Blow Up	Bacheo en Hormigón Espesor Total	PA-PF	m2
62	Alto	Grieta de Esquina	Bacheo en Hormigón Espesor Total	PA-PF	m2
63 <sup>3</sup>	Alto	Grietas Long, Transv	Sello Grietas	CS-PC	m
64	Alto	Grietas Tipo "D"	Reemplazo losa	SL-PC	m2
66	Alto	Parches Menores	Bacheo en Hormigón Espesor Parcial	PA-PP	m2
67	Alto	Parches Mayores	Bacheo en Hormigón Espesor Total	PA-PF	m2
70	Alto	Escamaduras. Mapeos	Reemplazo losa	SL-PC	m2
71	Alto	Escalonamiento	Cepillado (Localizado)	GR-PP	m2
72	Alto	Losas Destrozadas	Reemplazo losa	SL-PC	m2
74	Alto	Astillamiento de Junturas	Bacheo en Hormigón Espesor Parcial	PA-PP	m2
75	Alto	Astillamiento de Esquina	Bacheo en Hormigón Espesor Parcial	PA-PP	m2

Fuente: Elaboración Propia en base a MicroPaver

De lo anterior, cabe indicar brevemente la descripción de algunos de estos trabajos:

- Bacheo asfáltico profundo: reemplazo de todo el espesor de una carpeta asfáltica y puede incluir el reemplazo de las capas de base y subbases. Ello en el caso de reparar deterioros relacionados con fallas estructurales.
- Bacheo asfáltico superficial: reemplazo del espesor de la carpeta asfáltica sin incluir reemplazo de capas granulares.
- Bacheo hormigón espesor total y reemplazo de losas: reemplazo total o de una parte de la losa en todo el espesor de ella. En caso de remover base granular esta se debe retirar y rellenar con pavimento de hormigón. En caso de deformidad detectada de la losa y que esta se refleje en la capa de base granular, reemplazar la base en espesor parcial o total.
- Bacheo hormigón espesor parcial: remoción parcial de poco espesor de pequeñas áreas deterioradas y su reemplazo por materiales adecuados tales como morteros de cemento epóxico.
- Cepillado: remoción de una delgada capa de pavimento rígido mediante una barra rotatoria, para reperfilear juntas irregulares por escalonamiento o alabeo.
- Sello de grietas: proceso de limpiar y sellar grietas tanto en pavimento rígido como flexible.

<sup>2</sup> Se recomienda incluir este tipo de deterioro (52) dentro del plan de mantenimiento, ya que puede provocar FOD y se pierde la regularidad del pavimento.

<sup>3</sup> Se recomienda evaluar una vez en terreno el tipo de reparación para este daño (63), ya que en ocasiones por el espesor que tiene la grieta y el desprendimiento mayor de sus bordes, puede ser más óptima una reparación del tipo bacheo.



#### 1.2.2.2.1.2 Localizado preventivo

Se define como el conjunto de actividades de reparación de los deterioros existentes, no importando el lugar donde se ubiquen, efectuadas con el objetivo primario de detener la tasa de deterioro del PCI. Se aplica a todos los pavimentos del aeropuerto que están sobre un nivel de PCI Crítico  $PCI \geq 65$  para el área de movimiento de aviones.

Este tipo de mantenimiento está asociado al concepto; al igual que el anterior, de atacar el problema en forma puntual, pero en este caso para los deterioros detectados en la inspección, que tengan un nivel Medio de severidad.

De realizarse una inspección al 100% de las unidades de muestra se tendrá en forma precisa la ubicación, cantidad del daño y cantidad de reparación. El plan de mantenimiento se enfocará en forma precisa a cada defecto detectado. De realizarse una inspección en forma estadística (no al 100% de las unidades de muestra en las que se divide el pavimento según su sección), este tipo de reparación deberá estimarse según una extrapolación de las unidades auscultadas, que será claramente menos preciso que al 100% donde se identifica cada uno de los defectos, su ubicación, cantidad y severidad, pero según se tenga una base de datos más abultada según familias de pavimentos, esta extrapolación puede ser cada vez más asertiva.

Se estima que este tipo de reparación debe efectuarse anualmente, y que no radica en grandes sumas de inversión ya que como se mencionó anteriormente, existen deterioros repetitivos por tipo de pavimentos, donde en general en asfalto predominan los sellos de grietas y en menor medida los bacheos, en tanto que para pavimentos de hormigón priman las reparaciones del tipo bacheo a profundidad parcial (para astillamientos y baches menores) y sello de grietas.

Lo anterior mencionado ocurre en caso de obtener índice PCI cercano a 70%. Con un índice a la baja, los daños se acrecientan, aumentando los del tipo estructural, que implican reparaciones de mayor intervención y costo. Cabe destacar que al imponer un PCI crítico, se establece que bajo este las reparaciones localizadas pierden validez ya que se requerirá de un mayor esfuerzo en tiempo y dinero para reparar en forma localizada y aun con ello el PCI no sube porcentualmente en forma significativa para la unidad de muestra en forma puntual y para la sección en forma general, si esta mantiene una similitud en su superficie.

A continuación, se indica la política de mantenimiento localizada preventiva:

Tabla 1.9: Política de Mantenimiento Localizada Preventiva Pavimentos Aeronaves

POLÍTICA DE MANTENIMIENTO LOCALIZADA PREVENTIVA PARA PAVIMENTOS PARA AERONAVES					
DETERIORO	SEVERIDAD	DESCRIPCIÓN	TIPO DE TRABAJO	CODIGO	UNIDAD
41	Medio	Piel de Cocodrilo	Bacheo Asfáltico Profundo	PA-AD	m2
43	Medio	Grietas en Bloque	Sello Grietas	CS-AC	m
45	Medio	Depresiones	Bacheo Asfáltico Profundo	PA-AD	m2
47	Medio	Grieta de Reflexión	Sello Grietas	CS-AC	m
48	Medio	Grietas Long, Transv	Sello Grietas	CS-AC	m
49 <sup>4</sup>		Derrame de Combustible	Bacheo Asfáltico Superficial	PA-AS	m2
50	Medio	Bacheos o Parches	Bacheo Asfáltico Profundo	PA-AD	m2
53	Medio	Ahuellamiento	Bacheo Asfáltico Profundo	PA-AD	m2
54	Medio	Protuberancia Asf/Horm	Bacheo Asfáltico Superficial	PA-AS	m2
55		Grietas por Resbalamiento	Bacheo Asfáltico Superficial	PA-AS	m2
56	Medio	Hinchamiento	Bacheo Asfáltico Profundo	PA-AD	m2
61	Medio	Blow Up	Bacheo en Hormigón Espesor Total	PA-PF	m2
61	Bajo	Blow Up	Bacheo en Hormigón Espesor Total	PA-PF	m2
62	Medio	Grieta de Esquina	Bacheo en Hormigón Espesor Total	PA-PF	m2
63	Medio	Grietas Long, Transv	Sello Grietas	CS-PC	m
64	Medio	Grietas tipo "D"	Bacheo en Hormigón Espesor Total	PA-PF	m2
66	Medio	Parches Menores	Bacheo en Hormigón Espesor Parcial	PA-PP	m2
67	Medio	Parches Mayores	Bacheo en Hormigón Espesor Total	PA-PF	m2
70	Medio	Escamaduras. Mapeos	Reemplazo losa	SL-PC	m2

<sup>4</sup> Se recomienda no considerar la reparación de este defecto (49) una vez ocurrido. A juicio de este consultor es necesario ver la evolución del pavimento frente al derrame de aceites, o solventes y comprobar en dos o más periodos si el derrame causó ablandamiento de la superficie o solo se deriva a un daño estético.



POLÍTICA DE MANTENIMIENTO LOCALIZADA PREVENTIVA PARA PAVIMENTOS PARA AERONAVES					
DETERIORO	SEVERIDAD	DESCRIPCIÓN	TIPO DE TRABAJO	CODIGO	UNIDAD
71	Medio	Escalonamiento	Cepillado (Localizado)	GR-PP	m2
72	Medio	Losas Destrozadas	Reemplazo losa	SL-PC	m2
74	Medio	Astillamiento de Junturas	Bacheo en Hormigón Espesor Parcial	PA-PP	m2
75	Medio	Astillamiento de Esquina	Bacheo en Hormigón Espesor Parcial	PA-PP	m2

Fuente: Elaboración Propia en base a MicroPaver

#### 1.2.2.2.2 Conservación Global Preventiva

##### 1.2.2.2.2.1 Conservación en base a diagnóstico PCI

Este tipo de mantenimiento se aplica a sectores completos de pavimento con el objetivo primario de demorar o hacer más lenta la tasa de deterioro. Se incluyen los tratamientos superficiales para los pavimentos asfálticos y el sello de juntas para los pavimentos rígidos entre otros. Se aplica a los pavimentos sobre el PCI Crítico ( $PCI \geq 65$  para el área de movimiento de aviones).

Tal como se indicó más arriba, estas conservaciones serán contempladas para pavimentos con un índice mayor al crítico, ya que como se explicó, bajo este índice mayor es su tasa de deterioro y estas conservaciones globales, algo más costosas que las reparaciones localizadas, no devuelven estructuralmente la condición inicial, por no considerarse retiro de la capa superficial, sino tratarlas mediante sellos, por lo que la inversión estaría siendo mal aprovechada. Se espera que con este tipo de mantención, que refresca el aspecto del pavimento, los defectos sean menos visibles en los primeros años posteriores a la aplicación, sin que ello signifique que no estén presentes. En general luego de esta aplicación el índice fácilmente sube 10 puntos en promedio. En definitiva, los tratamientos de mantenimiento preventivo no incrementan significativamente la vida útil del pavimento en comparación con una rehabilitación total, pero sí en comparación a la vida útil de la superficie si no se actúa de ninguna manera.

En este contexto, la matriz de decisión debe contemplar desarrollar trabajos globales según sea la condición de la sección evaluada y los defectos que en ella estén presentes y como el fundamento es planificar los trabajos a futuro, predecir cuando el o los pavimentos requerirán de este tipo de mantención. Los requisitos para contemplar este tipo de mantenimiento acotan los daños a causas de clima o edad, no siendo recomendable aplicarlos a pavimentos con daños estructurales, escondiendo un defecto de mayor relevancia.

Pocas son las opciones de mantenimiento global preventivo para pavimento rígido, ya que la configuración por losa independiza los daños entre ellas y de existir deterioros repetidos entre losas, la reparación corresponderá de igual forma a reparaciones localizadas. No es factible la aplicación de riegos, por ende, queda únicamente la conservación de las juntas de hormigón, solución que no está incluida en forma parcial en los tratamientos localizados.

##### a) Pavimentos asfálticos

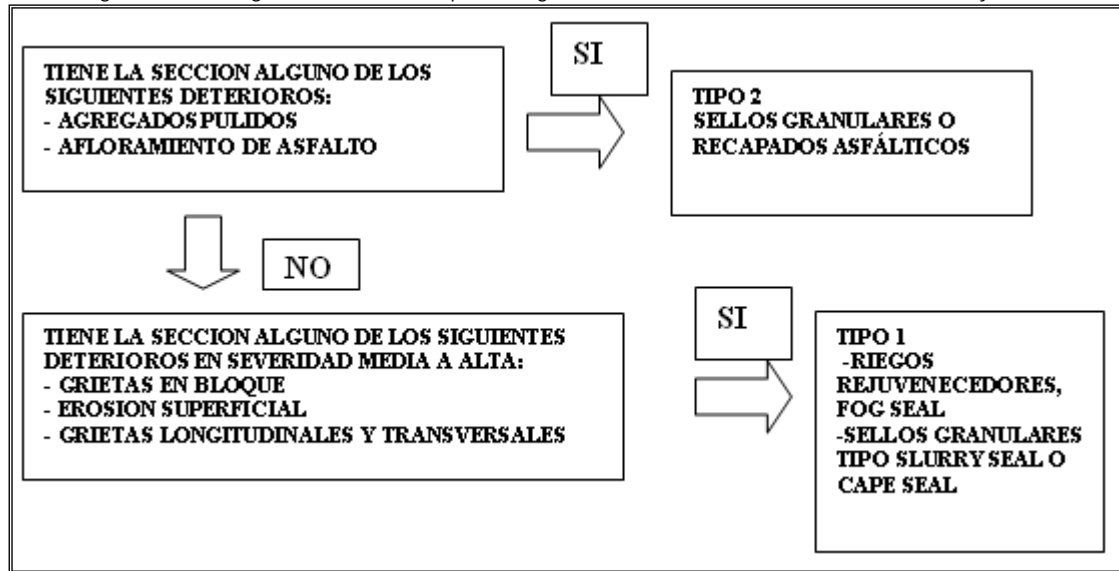
Podrán existir variadas matrices de decisión en cuanto a su aplicación, una de ellas es la que radica en la potencial existencia de cierto tipo de defectos y su incidencia en el pavimento, en base a lo cual, se hace meritorio al rejuvenecimiento de la superficie.

Para determinar cuáles secciones de pavimento asfáltico requieren de un mantenimiento global preventivo se podrán tomar en consideración una serie de criterios, donde se encuentran:

- Deterioros asociados a fallas por clima, edad, construcción u otros agentes, excluyendo en general, daños del tipo estructural.
- El rango de calificación de los pavimentos, teniendo como límite inferior el PCI crítico y límite superior un valor dentro de la categoría de "Muy Bueno", considerando que por sobre éste el pavimento no presentaría daño significativo.
- La edad del pavimento.
- El tipo de trabajo dependiendo del deterioro.

Por último, que el defecto a reparar se encuentre dentro de un porcentaje apreciable dentro del total de la superficie y en una severidad tal que requiera un trabajo oportuno.

Figura 1.22: Diagrama de decisión para asignar Mantenimiento Global Preventivo Asfáltico<sup>5</sup>



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo anterior se presentan los siguientes criterios:

- 1) Se determinarán las secciones según el diagrama de decisión
- 2) Que el índice se encuentre entre:  $75 \geq \text{PCI} \geq 65$  para pavimentos de aeronaves
- 3) Que tenga a lo menos 5 años de servicio.
- 4) Que la densidad de los deterioros que requieran mantenimiento del Tipo 2 del *Diagrama de Decisión*, sean superior al 50%.
- 5) Que las secciones que requieran mantenimiento del Tipo 1 tengan alguno de los deterioros mencionados en el *Diagrama de Decisión*, en un porcentaje de densidad superior al 30%, independiente del lugar donde ocurran o que la mezcla de ellos involucre una densidad de pavimento deteriorado superior al 30%.

Se podrán definir dos tipos de mantenimiento global preventivo para los pavimentos asfálticos, Tipo1 y Tipo 2, estos tipos son asignados a las secciones basándose en el tipo de deterioro presente.

El Tipo 2 se recomienda para pavimentos con deterioros que puedan causar problemas de deslizamiento de las aeronaves o automóviles como la exudación de asfalto. Este se reconocerá como una película de material bituminoso sobre la superficie del pavimento, causado por una excesiva cantidad de cemento asfáltico y/o un bajo contenido de huecos de aire en la mezcla. El afloramiento no tiene niveles de severidad, pero solo se considerará cuando su extensión abarque una superficie tal que provoque reducción del coeficiente de fricción.

Así mismo, el daño denominado agregado pulido, es el causado por repetidas pasadas de las aeronaves, en donde el pavimento revela que una porción de agregados de la superficie no tiene suficiente rugosidad ni partículas angulares para dar buena fricción. No se define por niveles de severidad, sin embargo, solo se considerará si este es significativo en la superficie.

El Tipo 1 se recomienda para pavimentos con deterioros relacionados con el clima como las grietas en bloque, las que se presentan como grietas interconectadas que dividen el pavimento en bloques rectangulares. Esto no se asocia a cargas, sino que indica que el asfalto se ha rigidizado significativamente. Así mismo, las grietas longitudinales y transversales pueden ser causadas por juntas de construcción defectuosas, rigidización del asfalto, etc. Para ambos tipos de deterioro, podrá aplicarse el mantenimiento global preventivo cuando dichos daños se presenten en un nivel de severidad en general de medio a alto y posteriormente a los trabajos de mantenimiento local preventivo, que en este caso corresponderán al

<sup>5</sup> Esquema se incluye dentro de los informes anuales de inspección de pavimentos mediante método PCI para aeropuertos concesionados elaborados por esta consultora.



sello de grietas. Para el caso de la erosión superficial, este corresponderá al desgaste del pavimento causado por el desprendimiento de partículas de agregado y pérdida de asfalto.

Podrá entrar dentro del tipo de mantenimiento global preventivo cuando se presente en niveles de medio a alto, en donde el desgaste, ya sea del agregado o del ligante, provoque potencial FOD y la superficie se encuentre agujereada.

El mantenimiento más típico será el FogSeal, que se aplicará posterior a los trabajos de mantenimiento localizado preventivo, como una forma de homogeneizar y refrescar la superficie, además de sellar porosidades, pequeñas grietas y/o mejorar la retención de áridos superficiales.

La selección del mantenimiento también es función del uso del pavimento. Se deberá considerar cuál de ellos es inapropiado especialmente en pista, ya que algunos podrían afectarla con problemas de FOD (daño a las aeronaves por objetos) que pueden generar a las turbinas de las aeronaves.

Este tipo de mantención se deberá programar teniendo en cuenta que el orden de mantenciones será de emergencia, preventivo local y posteriormente preventivo global.

#### b) Pavimentos de hormigón

Tal como se indicó, el tipo de mantenimiento global para pavimentos de hormigón podrá ser el tipo "Sello de Junturas", lo anterior, considerando que cualquier otro tipo de reparación para pavimentos rígidos se realiza en forma localizada, a diferencia de los pavimentos flexibles a los que se les pueden aplicar tratamientos superficiales en un área extensa. Las secciones de pavimento de hormigón que requieran este tipo de reparación serán las que cumplan con una serie de criterios, donde se encuentran:

- El rango de calificación de los pavimentos, teniendo como límite inferior el PCI crítico y límite superior un valor dentro de la categoría de "Muy Bueno", considerando que por sobre éste el pavimento no presentaría daño significativo.
- La edad del pavimento.
- Por último, que el defecto a reparar se encuentre dentro de un porcentaje apreciable dentro del total de la sección y en una severidad tal que requiera un trabajo oportuno.

De acuerdo a lo anterior se presentan los siguientes criterios:

- 1) Que el índice se encuentre entre:  $75 \geq \text{PCI} \geq 65$  para pavimentos de aeronaves
- 2) Que tengan más de 5 años de servicio.
- 3) Que el deterioro correspondiente al "Daño al sello de Junturas" se encuentre en un nivel de severidad Alto en un porcentaje de densidad mayor o igual al 50%.

#### 1.2.2.2.2 Conservación en base a diagnóstico de fricción

Además de lo anterior, donde se contemplan reparaciones en base a un índice PCI y los daños presentes en el pavimento, deberá tenerse en consideración un segundo requisito para contemplar trabajos globales preventivos. Estos son en base a los índices de roce obtenidos mediante ensayos de rugosidad, los que indicarían; en una medición con resultados defectuosos, que tan lisa se encuentra la superficie, específicamente en pista. En general las características de rozamiento dependen de la textura del pavimento.

Según sea el equipo que se utilice para medir este índice es que existen normativamente los parámetros bajos los cuales se hace necesario aplicar trabajos para recuperar las características de diseño. La siguiente tabla indica estos valores:

Figura 1.23: Niveles de Índice Coeficiente de Roce

**Tabla 3-1. Niveles correspondientes a las condiciones de superficie de la pista**

Test equipment	Neumático de ensayo		Velocidad en ensayo (km/h)	Profundidad del agua en ensayo (mm)	Objetivo de diseño de nuevas superficies de pista	Nivel previsto de mantenimiento	Nivel mínimo de rozamiento
	Tipo	Presión (kPa)					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
Remolque medidor del valor Mu	A	70	65	1,0	0,72	0,52	0,42
	A	70	95	1,0	0,66	0,38	0,26
Deslizómetro	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Vehículo medidor del rozamiento en la superficie	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Vehículo medidor del rozamiento en la pista	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,54	0,41
Vehículo medidor del rozamiento TATRA	B	210	65	1,0	0,76	0,57	0,48
	B	210	95	1,0	0,67	0,52	0,42
Remolque medidor TRUNAR	B	210	65	1,0	0,69	0,52	0,45
	B	210	95	1,0	0,63	0,42	0,32
Remolque medidor de astriemo GRUPTETER	C	140	65	1,0	0,74	0,53	0,43
	C	140	95	1,0	0,64	0,36	0,24

Fuente: Manual de Servicios de Aeropuertos - OACI

En general; la condición de textura no suele variar con el tiempo salvo en la zona de contacto debido a la adherencia de caucho de los neumáticos de las aeronaves en la superficie, que hace necesario su retiro por medios mecanizados. Sin embargo, existen casos donde también influye en un índice bajo, la pérdida de una microtextura porosa. Esta última permite la penetración de la partícula de agua, evitando el hidroneo, sin embargo, esta característica puede irse perdiendo ya sea por la condición climáticas como el número de operaciones. Para este tipo de defecto, se recurren a tratamientos del mismo tipo en pavimentos de asfalto, esto es riegos asfálticos.

Para pavimentos de hormigón, se puede plantear; entre otras soluciones, el ranurar el pavimento, que mejora en general la resistencia del pavimento al deslizamiento con ranuras en forma transversal al sentido de avance. El único problema puede radicar en una mayor acumulación de caucho entre ranuras.

Tanto este tipo de trabajo (mejora de roce) como los anteriores (mejora de índice PCI), deberán estar estrechamente ligados, con el fin que el mantenimiento aplicado contrarreste tanto los efectos nocivos de los deterioros, así como aumente el nivel de seguridad operacional evitando una falla de frenado en la superficie.

Según la periodicidad con que se determine el índice de rugosidad, es que se deben analizar los resultados para incluirlos dentro del plan de mantenimiento. En general, una superficie, de tener operaciones similares y climas y superficies similares, es de esperarse que la adherencia de caucho se encuentre en iguales condiciones según familia de pavimentos (en este caso únicamente en pista) y se puedan predecir las necesidades de retiro de caucho de forma más certera.

#### 1.2.2.2.3 Conservación Mayor

Tal como se indica en la literatura disponible y como también es indicado por la Dirección de Aeropuertos en sus Manuales de Mantenimiento, estos tipos de trabajos son las actividades aplicadas a toda una sección de pavimento para corregir o mejorar funcional y estructuralmente el pavimento. El mantenimiento mayor se utiliza para mejorar pavimentos que están bajo el PCI crítico. Se incluye la reconstrucción y los recapados estructurales. El PCI después de la aplicación de un mantenimiento mayor se asume que retorna a 100.

Si bien el índice PCI baja inexorablemente con el paso del tiempo, ya sea por condiciones de clima, edad y carga, es esta última la que logra mayor detrimento en las condiciones del pavimento. Existe para ello un índice adicional para permitir evaluar la condición estructural de los pavimentos, siendo este el indicador SCI (Structural Condition Index), que se obtiene de manera similar al indicador PCI, pero que considera una menor cantidad de deterioros, asociados principalmente a problemas estructurales de las carpetas de rodado.



Para pavimentos asfálticos el SCI considera:

- a) Grietas tipo piel de cocodrilo (41)
- b) Ahuellamiento (53).

Mientras que, para pavimentos de hormigón, el SCI considera:

- a) Grietas longitudinales, transversales y diagonales (63)
- b) Grietas de esquina (62)
- c) Grietas en bloque, losas destrozadas (72)
- d) Grietas por retracción (73).
- e) Astillamiento de Juntura (74)
- f) Astillamiento de esquina (75)

En general, mientras mayor sea la aparición de este tipo de defectos, mayor y más rápido será el descenso de los índices, hasta llegar al nivel crítico que hará necesaria una conservación mayor para contrarrestar los daños estructurales. Sin embargo, es posible que, en la aparición masiva de efectos por clima y edad, el índice SCI no demuestre una baja significativa y aun llegando a un PCI crítico se estará reparando el pavimento por aspectos operativos y estéticos.

Si bien se establece que una conservación mayor se llevará a cabo a partir de un PCI crítico, podrá evaluarse el recapar o reconstruir, si el pavimento presenta un 20% del área con daño estructural medio y el año anterior sufrió intervenciones localizadas con un porcentaje igual de daños. En los seguimientos consecutivos, podrá llevarse a decisión si con estos valores porcentuales, es lógico incluir el pavimento dentro de una conservación mayor y no gastar en trabajos localizados para pavimentos con una tasa de aumento en sus defectos en esa cantidad. Se podrá correlacionar el índice PCI versus porcentaje de daños estructurales y con ello hacer la mejor decisión de intervención.

El someter a los pavimentos a conservaciones mayores, implica de mayor tiempo y costo, considerando un presupuesto para un proyecto de diseño de ingeniería definitiva, la ejecución e implantación del proyecto y el seguimiento del mismo. Además de los costos que pueda implicar el cierre parcial de las zonas de intervención en el aspecto operativo.

Una vez decidido el mantenimiento mayor, se deberán tener en cuenta una serie de aspectos a la hora de identificar las distintas soluciones alternativas para elegir un tratamiento de rehabilitación o reconstrucción, entre ellas:

- Tipo de infraestructura a rehabilitar (pista, calle de rodaje, plataforma, etc.)
- Estado actual del pavimento, defectos superficiales e histórico de defectos. Esto último para evitar un tipo de pavimento que no sea óptimo ya sea por carga o clima.
- Historial de construcción y experiencia previa con ese tratamiento en circunstancias similares.
- Propiedades estructurales, capacidad portante del pavimento actual, capacidad de soporte de fundación
- Previsión de cargas de tráfico en términos de número de operaciones, salidas y tipo de aeronave.
- Exposición a las condiciones medioambientales como temperaturas extremas del pavimento, número de ciclos de hielo-deshielo y exposición a derrames de combustible.
- Vida residual del pavimento.
- Disponibilidad de presupuesto.
- Tiempo de inactividad de la infraestructura durante la ejecución y costos asociados
- Limitaciones operacionales y requerimientos de habilitación de otras zonas en las fases de construcción.

Muchas de las condiciones antes mencionadas ayudarán a definir si la reconstrucción desde la subrante es la única opción para la sección en cuestión, ya sea por falta de estructura en base a cálculos de la nueva flota, por mal comportamiento del pavimento a través de su vida útil u otra incidencia que imposibiliten recapar sobre lo ya existente.

Generalmente los tratamientos mayores son seleccionados de acuerdo a sus beneficios y costos asociados estimados. Sin embargo, al imponer un índice de valor crítico bajo el cual se hace completamente necesaria su intervención mayor, se independiza del análisis costo-beneficio, ya que es una obra necesaria para devolver la operatividad óptima del pavimento, lo que se encuentra también ligado a la seguridad operacional. Por ende, la intervención cualquiera sea el costo que radique de ella, deberá ser aplicable en un momento de tiempo esperado.



Lo que podrá evaluarse, es si en la matriz de familias y proyección de deterioros e índices, más de alguna sección en un año determinado para varios aeropuertos incluidos dentro de esta matriz de familias, requiere de este tipo de intervención, podrá priorizarse según cantidad de operaciones, uso (pista, plataforma, rodajes), posibilidad de intervención, cantidad de intervención, cantidad de presupuesto disponible, entre otros factores, cuando se esté en el escenario antes descrito.

Finalmente, en definitiva, los tratamientos de conservación mayor intervienen el 100% de la sección afectada e incluso, para optimización de los presupuestos y tiempos de intervención, pueden incluir las zonas aledañas a la zona crítica, en donde se dará pie a una nueva sección independiente en la matriz de familias.

Tanto los recapados como las reconstrucciones deberán incluir trabajos de topografía, mecánica de suelos, ensayos no destructivos a definir, estudio de demanda, todo ello con el fin de llegar a una nueva estructura que devolverá al pavimento a una situación óptima.

### 1.2.2.3 Auscultaciones para inspección de pavimentos y periodicidad de repetición

Tiempo atrás, la medición del estado de un pavimento existente requería de la aplicación de procesos destructivos en el pavimento, lo que alteraba el equilibrio del sistema pavimento-subrasante. Actualmente, a través de nuevas tecnologías o también llamados instrumentos de última generación que aplican técnicas para ensayos de alto rendimiento, conocidas como pruebas no destructivas, se ha mejorado en la auscultación de pavimentos. Estos procesos responden a la necesidad de conocer y controlar adecuadamente el comportamiento de las obras y mantenciones, proporcionando información de gran valor acerca del estado de estas, lo que posibilita la toma de decisiones para la aplicación de las medidas correctivas en caso de ser necesario.

El conocimiento del estado del pavimento requerirá de dos tipos de análisis: la evaluación estructural y la evaluación superficial. Aunque se separen los dos tipos de evaluación, ambas están intrínsecamente unidas, ya que un deterioro estructural puede conducir a un deterioro superficial y viceversa. El separar ambos tipos de evaluación viene obligado no solo por una diferenciación conceptual, si no, también por la diferente naturaleza de los procedimientos y equipos empleados.

En consecuencia, la auscultación sistemática, realizada con una frecuencia adecuada, ayudará a conocer las causas que han podido dar lugar al deterioro del pavimento y a interpretar sus resultados, pero, sobre todo, permite anticipar su comportamiento mediante la aplicación de determinados modelos, cuyo contraste exige una labor continuada durante muchos años, organizando la información recogida en bases de datos que alimentan, junto a las inspecciones visuales, los sistemas de gestión de pavimentos.

#### *1.2.2.3.1 Auscultaciones Superficiales*

La evaluación superficial del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie, y que afectan negativamente a los costos y seguridad del usuario. De los defectos superficiales que pueden presentarse en un pavimento, el que más afecta la calidad de servicio al usuario es la rugosidad, y en menor medida otros defectos como ser: grietas, desprendimientos, etc.

##### 1.2.2.3.1.1 Método Pavement Condition Index (PCI)

Esta metodología tiene el propósito de determinar la condición de pavimentos aeroportuarios a través de inspecciones visuales en superficies pavimentadas con asfaltos y hormigón, usando el índice de condición de pavimentos como método de cuantificación normalizado. La guía ASTM D5340 es la guía para la definición de deterioros del pavimento.

El método PCI fue desarrollado para ser realizado como un procedimiento de inspección visual y éste describe la recolección manual de deterioros PCI. Actualmente la tecnología disponible contribuye en la recolección de los datos e incluso en facilitar algunos de los procesos para determinar el PCI, de manera automatizada o semi-automatizada. A grandes rasgos, el sistema automático de captura de imágenes se basa en montar una cámara mirando hacia abajo en un vehículo. La utilidad de esta tecnología también dependerá de factores como la resolución de la imagen, las condiciones de

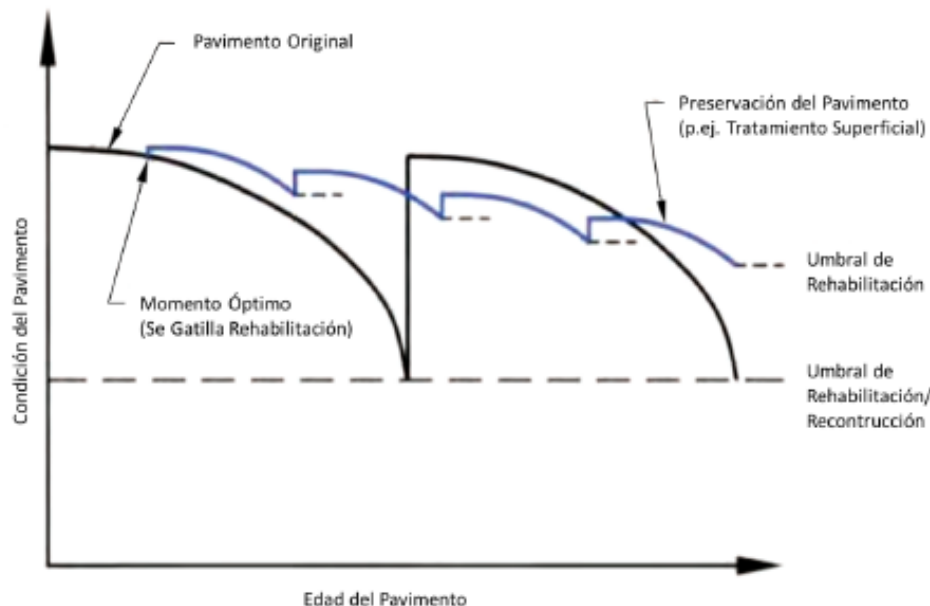
iluminación, y la velocidad y la altura a la que se recoge la imagen. Un desarrollo relativamente reciente en otros países, es el uso de sistemas aéreos no tripulados (RPAs), equipados con cámaras, para llevar a cabo la obtención de fotos y de videos de inspección del pavimento. Dichos dispositivos pueden ser programados para volar una ruta de vuelo autónomo.

La captura se desarrolla al 100% de las unidades de muestra que componen las secciones. Sin embargo, podrán evaluarse una selección de unidades de muestra por sección, hasta que se consiga un nivel de confianza del 95%.

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños que establece la Norma ASTM 5340–98 para obtener un valor del PCI confiable. La Norma ASTM 5340–98, define 16 patologías en pavimentos asfálticos (AC) y 15 en Pavimentos de Hormigón de Cemento Portland (PCC) y establece las definiciones y guías para la cuantificación de las fallas y posterior determinación del PCI.

La inspección ha de planearse según varios niveles. Debe haber una inspección visual continua que permita detectar deterioros y fallos evidentes de alta severidad, los que deben solucionarse en forma inmediata para evitar riesgos operacionales como la presencia de FOD. Así mismo debe haber una inspección rutinaria cada 6, 12 o 24 meses dependiendo del uso del pavimento y de los cuales se determine la condición actual de cada sección y sus potenciales necesidades de reparación localizada y global. Se estima que, para pavimentos aeroportuarios de nueva construcción, se debería realizar una inspección por el método PCI a partir del tercer año de construcción, debido que en los primeros años no debiesen presentarse daños visibles. Una vez se cumpla esta edad se estima necesario programar las inspecciones cada 12 meses para enfocarse en detener los deterioros presentes y con ello aumentar la vida útil del pavimento.

Figura 1.24: Curva deterioro del pavimento



Fuente: Imagen disponible en bibliografía de gestión de pavimentos

#### 1.2.2.3.1.2 Ensayos para determinar coeficiente de rozamiento

Este ensayo se realiza para definir la efectividad del rozamiento que puede obtenerse entre los neumáticos de los aviones y la superficie de la pista en determinadas condiciones de utilización, como son las que existen cuando hay nieve, hielo o agua sobre la pista y, particularmente, cuando las velocidades de despegue o aterrizaje de los aviones son altas. Con el tiempo, el rozamiento del pavimento de una pista se deteriora debido a una serie de factores como pueden ser el desgaste mecánico y la acción de pulido debido al paso y la acción de frenado de las ruedas de las aeronaves o la acumulación de contaminantes (principalmente caucho). Estos factores dependen proporcionalmente del volumen y frecuencia del tráfico, por lo que las revisiones y comprobaciones serán función de estos. Otros factores que influyen en el índice de deterioro del

rozamiento son las condiciones climáticas locales, el tipo de pavimento (rígido/flexible), la calidad de los materiales empleados en la construcción de la pista, cualquier tratamiento posterior y el programa de mantenimiento del aeropuerto.

Se considera muy conveniente ensayar las características de rozamiento de pistas pavimentadas a más de una velocidad, para poder obtener información adecuada de las características de rozamiento de las pistas. En los ensayos de rozamiento la velocidad baja (65 km/h) determina el estado de la superficie del pavimento en relación a la macrotextura, los contaminantes y el drenaje. La velocidad alta (95 km/h) proporciona una indicación de la microtextura de la superficie.

Figura 1.25: Equipo medidor del valor  $\mu$



Fuente: Imagen disponible en bibliografía de instrumentos de medición

Según la FAA en su AC-150-5320-12C, se recomienda que los aeropuertos que operan con tráfico tipo jet; es decir en Chile todos menos los aeropuertos que basan sus operaciones en la aviación general, dispongan de equipos de medición de rozamiento denominados CFME (Continuos Friction Measuring Equipment) o lo que es lo mismo, equipos de medida de rozamiento de forma continua.

Luego, la periodicidad para realizar estas mediciones dependerá del volumen y tipo de tráfico en pista. Como criterio general recomendado por la FAA, se indica una tabla con la frecuencia con la que se deberían de ejecutar este ensayo:

Figura 1.26: Criterio para determinar la frecuencia de medición de coeficiente de roce

Número mínimo de aterrizajes diarios por pista	Frecuencia de medición mínima
Menos de 15	1 año
16-30	6 meses
31-90	3 meses
91-150	1 mes
151-210	2 semanas
Más de 250	1 semana

Fuente: Manual de Servicios OACI- Apéndice 2

Con los resultados se deben plantear medidas de mantención dentro del mismo plan anual.

#### 1.2.2.3.2 Auscultaciones Estructurales

La evaluación estructural del pavimento, tiene por objeto la cuantificación de la capacidad estructural remanente presente en las distintas capas que componen la estructura. Para evaluar esta capacidad estructural del pavimento existen diversos procedimientos.

#### 1.2.2.3.2.1 Ensayos de deflectometría

La medición de deflexiones en la superficie con métodos no destructivos, se basa en simular el efecto de las cargas de tránsito sobre el pavimento, midiendo la respuesta de desplazamientos verticales generada. Con base en la respuesta medida, se estiman parámetros e indicadores de comportamiento global del pavimento ante cargas.

A nivel mundial se cuenta con una gran cantidad de equipos para determinar deflexiones en campo, sin embargo, los de mayor uso son los deflectómetros de impacto cuya magnitud de carga y tiempo de aplicación, ha permitido simular satisfactoriamente el efecto del tránsito sobre el pavimento, en esta categoría se pueden mencionar el deformómetro rodante de alta velocidad RDT y los deflectómetros de impacto tipo Falling Weight Deflectometer (FWD) o Heavy Weight Deflectometer (HWD). Los dos últimos requieren detener el equipo durante las pruebas mientras que el RDT es el método más rápido puesto que el equipo va en movimiento.

El FWD genera un impacto en el pavimento y mide en forma muy exacta las deflexiones de pavimento resultantes, cuando están en la posición estática y el HWD permite determinar el valor máximo de la carga, el tiempo de ascenso y la forma de la curva producida por el impacto, además de la medición de carga/deflexión. El HWD registra la posición del punto medido con coordenadas geográficas, la temperatura del aire y la temperatura de la superficie del pavimento. Con ello se puede determinar la fatiga del pavimento, lo que llevará a plantear conservaciones mayores según el estado obtenido.

Respecto a la ejecución de ensayos para el cálculo de deflexiones, se estima óptimo realizarla cada dos años, pues las condiciones estructurales son más estables en el tiempo. La primera deberá contemplarse una vez finalizada la construcción con el fin de comprobar que la obra se llevó a cabo en forma óptima según el diseño.

*Figura 1.27: Deflectómetro de impacto*

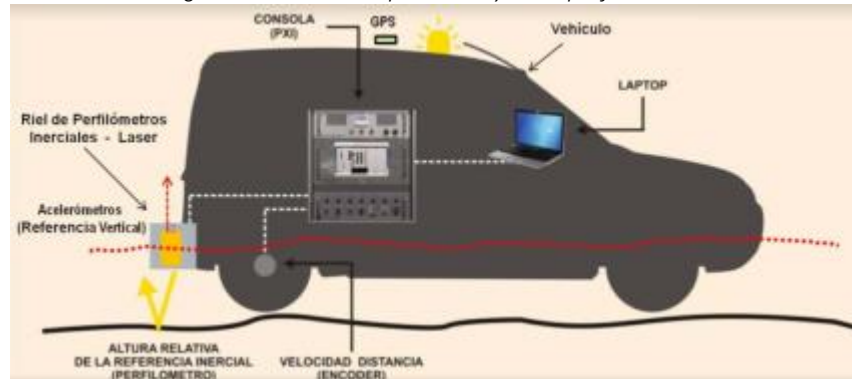


*Fuente: Imagen disponible en bibliografía de instrumentos de medición*

#### 1.2.2.3.2.2 Ensayos para medición de perfil longitudinal

Las mediciones realizadas con los perfilómetros son parte del proceso de control de calidad de los pavimentos terminados. Los perfilómetros laser que cumplen con los requisitos de ASTM E950, son los equipos utilizados hoy en día para proporcionar una medida del perfil del pavimento o para calcular un Boeing Bump, parámetro que considera las alturas y longitudes de los resaltos que generalmente afectan la operación y el rendimiento de la aeronave. En la AC 150/5380-9 se encuentra una explicación más detallada de esta medida, así como orientación de la FAA sobre el uso de los datos de salida. La configuración de operación típica para recopilar datos de perfil es montar una barra de sensores en un vehículo. Tras en el ensayo, usando el software de la FAA, ProFAA, se determinan los índices de perfil: Regla, Boeing Bump, Índice de Rugosidad Internacional (IRI), California Profilograph y RMS Bandpass.

Figura 1.28: Sistema para ensayos de perfilometría



Fuente: Imagen disponible en bibliografía de instrumentos de medición

Se estima pertinente realizar ensayos a lo menos una vez al año, tanto en pistas como y calles de rodajes. Con los valores obtenidos se deberá evaluar si existe deformidad en la superficie, lo que llevará a un análisis de sus causas y sus potenciales reparaciones.

#### 1.2.2.3.2.3 Ensayos con georadar

El ensayo de Georadar o GPR aplicado a pavimentos, es un método no destructivo que tiene por objeto determinar los espesores de las capas del paquete estructural. El GPR proporciona una imagen del subsuelo gracias a los cambios en la constante dieléctrica de los materiales que lo componen, esto se ejecuta bajo las normas internacionales ASTM D 4748-98 y ASTM 6432-99.

Figura 1.29: Medición con georadar



Fuente: Imagen disponible en bibliografía de instrumentos de medición

El GPR puede pasarse sobre cualquier pavimento transitable. Un transmisor emite ondas electromagnéticas de determinada frecuencia (frecuencia central de la antena utilizada) que reflejan parte de su energía al atravesar las diferentes capas del pavimento. El receptor capta esas reflexiones generando un registro de las mismas en un gráfico profundidad – distancia.

Figura 1.30: Relación entre frecuencia y capacidad de penetración de la antena

Frecuencia de la Antena	Profundidad de penetración (m)
100 MHz	5.0
200 MHz	3.0 – 4.0
400 MHz	2.0 – 3.0
600 MHz	1.5 – 2.0
1600 MHz	0.5 – 1.0

Fuente: Elaboración propia

Bajo criterio del consultor, los ensayos con georadar para la identificación de las capas estructurales de pavimentos, se deberá realizar una vez finalizada la construcción con el fin de comprobar que la obra se llevó a cabo en forma óptima según el diseño. La segunda oportunidad para la utilización de este método será para conocer pavimentos de estructura indefinida, de la que no se tenga historia. Por ello, no se considera necesario un ensayo repetitivo, sino único en el tiempo.

#### 1.2.2.3.2.4 Resumen

Según lo especificado anteriormente, se adjunta tabla con la periodicidad de repetición de los trabajos a ejecutar para la conservación de pavimentos aeroportuarios.

Tabla 1.10: Frecuencia de ejecución de ensayos/inspecciones

ENSAYO/INSPECCIÓN	PERIODICIDAD DE EVALUACIÓN
Pavement Condition Index (P.C.I)	Anual
Coef. Rozamiento	Anual (Dependiendo de volumen/tráfico de pista)
Deflectometría	Bienal
Perfilometría	Anual
Geo-radar	Al término de una ejecución de obra y cuando no se tenga información de la estructura de pavimento

Fuente: Elaboración propia

#### 1.2.2.4 Metodología de conservación en forma sistémica

##### 1.2.2.4.1 Procedimiento del Sistema de Gestión

De acuerdo a lo detallado en capítulos anteriores, la clave implementar un plan de gestión y con ello sistematizar la conservación de los pavimentos aeroportuarios se resume en:

- Recopilación de datos y definición de la red: se recopilan los datos existentes de la construcción de los distintos pavimentos. De no existir, se hacen ensayos destructivos y no destructivos para determinar la mayor cantidad de características
- Asociación de familias de pavimentos: con la información recopilada, se asocian pavimentos de similares características de uso, estructura, clima, entre otros para predecir el comportamiento de estos a lo largo del tiempo. En este punto la edad de las secciones no es característica de descarte, sino por el contrario, de las otras características similares, de un pavimento joven podrá predecirse un comportamiento  $x$  si ya se tiene información de un pavimento de mayor edad.
- Generación de rangos: en este paso, si es que así se decide, podrán generarse categorías de importancia de las secciones, en base a su ranking de atributos. Podrán rankearse; por ejemplo, los pavimentos de acuerdo al aeropuerto al cual corresponden (estimando cantidad de operaciones y flota) lo que significa rankear de acuerdo a la red aeroportuaria, a la zona dentro del aeropuerto lo que corresponde a la rama de cada aeropuerto (siendo pista la zona más esencial (principal), y los rodaje y plataformas menos esenciales, en especial si existe más de un rodaje o una gran área de plataforma (secundario)), a la cercanía entre otro aeropuerto de similares características, entre otros parámetros. Este ranking podrá servir en la decisión de intervención cuando se tenga



necesidad de presupuesto en dos o más secciones de diferentes aeropuertos en un mismo año y un presupuesto acotado

- Diagnóstico del estado del pavimento: se realiza una inspección visual del pavimento y los ensayos necesarios para determinar el estado del mismo mediante el PCI
- Predicción del estado del pavimento: mediante el uso software se calcula el estado actual del pavimento, así como la predicción del estado futuro del mismo. A mayor cantidad de datos, mayor será la fiabilidad de las proyecciones
- Formulación de las políticas de mantenimiento: de acuerdo a los deterioros detectados, como su nivel de severidad, se aplican planes de conservación rutinaria localizada anual. Se evalúa además la cantidad de daños asociados a conservaciones preventivas localizadas o la predicción en el tiempo cuando serán requeridas. Finalmente, de acuerdo al índice y las predicciones se completan los datos para indicar el año potencial de intervención, esto es cuándo llegarán a nivel de PCI crítico.
- Generación del presupuesto: se definen presupuestos para las reparaciones localizadas preventivas para cada sección. Con una gestión de datos actualizados, será posible a lo largo del tiempo estimar en forma más precisa el valor de reparaciones para cada tipo de familia. Este costo es inferior versus el global preventivo y el global mayor. Luego de acuerdo a la predicción de evolución de PCI, se podrán estimar las secciones a intervenir en el año en el cual alcanzan su valor crítico, requiriendo conservaciones globales mayores. De proyectarse a un horizonte de varios años, podrá abultarse la información con nuevos diagnósticos con el fin de comprobar que las predicciones son precisas. Con lo anterior se analizan los costos de inversión localizados anuales y los potenciales costos de reparación global.
- Elaboración de escenarios de mantenimiento: se analizan diferentes escenarios de mantenimiento con sus costos asociados, con el fin de detectar soluciones óptimas tanto de costo, como de tiempo de intervención.
- Análisis crítico del plan de mantenimiento: cada cierto tiempo se deberá evaluar que tan acertada ha sido a gestión de pavimentos, que aspectos se deben modificar, como por ejemplo el valor de PCI crítico, las predicciones por familia, el incremento de cada tipo de deterioro según tipo de pavimento y su uso, Lo anterior servirá para afinar y sistematizar con mayor detalle la gestión.

Lo anterior, no podrá llevarse a cabo si no se cuenta con personal que ingrese los datos de forma ordenada, periódica y sistematizada según diagnósticos y conservaciones y asocie las familias de acuerdo a la información de cada sección.

El afinar las matrices de decisión, hará cada vez más sistematizada la decisión de intervención por secciones de cada aeropuerto. El análisis más acabado se deberá llevar a cabo, para definir si dentro de una intervención se incluirán más de una zona según la oportunidad presupuestaria y operativa.

#### 1.2.2.5 Método de programa de inversión

##### 1.2.2.5.1 *Conservación Rutinaria*

Tal como ya ha sido mencionado anteriormente, será asociada la conservación rutinaria a mantenimientos localizados preventivos, que, a experiencia de este consultor, en general corresponden a sellos de grietas y bacheos puntuales en pavimento de asfalto y a sello de grietas y bacheos menores para pavimentos de hormigón.

De acuerdo a las inspecciones anuales, los tipos de deterioros que requieran de este tipo de intervención serán localizados en forma particular, determinándose con certeza los metros lineales de grietas y metros cuadrados de bacheos. El programa de inversión anual incluirá específicamente las zonas afectadas.

Se indicará el programa de inversión por tipo de trabajo para pavimento de asfalto como de hormigón. Se sugiere ir determinando a que porcentaje corresponde la reparación, respecto al área total del pavimento. Según esto se tendrán estadísticas anuales según cada tipo.

A mayor cantidad de datos anuales por sección y estas asociadas a familias de pavimentos, podrá a la larga, tener mayor automatización el método de programación de estos trabajos. Según las proyecciones podrá estimarse una cantidad de metros lineales y metros cuadrados, sin la necesidad de inspección mediante PCI al 100% de las unidades de muestra para desarrollar el presupuesto anual.



Según el total de las áreas por aeropuerto, en forma sistematizada, podrá llegar a indicarse el porcentaje del pavimento que requerirá intervención, pidiendo también para este tipo de reparación, programar los presupuestos.

Así mismo, con los índices PCI, los tipos de daños y predicciones se podrá determinar que sección y cuando requerirá mantención global preventiva, estimando un costo para estos trabajos.

#### 1.2.2.5.2 *Conservación Mayor*

Finalmente, y según el ranking de pavimento y las predicciones de evolución del índice, se estimarán en forma sistemática las inversiones de conservación mayor.

Con los análisis de estructura y flota, a lo largo del tiempo se debe estimar si el pavimento resiste en sus condiciones actuales o futuras un recapado o bien se contempla una reconstrucción mayor. En base a lo anterior se tendrá en forma rápida una cuantificación de los costos de intervención anual en el horizonte en el que se plantee mantener el plan de gestión. Este deberá ser actualizado con el fin de verificar si el índice ha decrecido o se ha mantenido en los niveles esperados.

El detalle del proyecto definitivo y los costos asociados se deberá solicitar a lo menos con dos años antes que el índice PCI del pavimento en cuestión llegue al valor crítico, anteponiéndose a fallas operativas y de seguridad, con el fin que la intervención llegue en el momento óptimo y no posterior a él.

## 2 CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA HORIZONTAL

### 2.1 *RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES*

#### 2.1.1 **Introducción**

Este capítulo corresponde a la Sub etapa 2.1, donde se desarrolla la "Recopilación de Antecedentes" de los pavimentos de los aeropuertos en estudio, siendo el caso de este informe los antecedentes del Aeropuerto Desierto de Atacama de Copiapó.

##### 2.1.1.1 Alcance del informe

De acuerdo a lo solicitado en el ítem 5.2.1 de los Términos de Referencia, para la Etapa N°2: Caracterización de la Infraestructura Horizontal, en la sub etapa de Recopilación de Antecedentes, se hará entrega de la siguiente información:

- Ubicación
- Tipo de pavimento
- Dimensiones en planta (m)
- Superficie (m<sup>2</sup>)
- Año de construcción
- Espesor y materialidad de capas superficiales y subyacentes
- Tipo y cantidad de tráfico a las cuales se encuentran sometidas

#### 2.1.2 **Proyectos Y Estudios Desarrollados**

Para obtener la información antes indicada, se analiza el último estudio vigente de "Actualización de la Información de la Infraestructura Aeroportuaria de la Red Primaria", desarrollado entre los años 2013-2014 por esta empresa consultora. En adelante se le mencionará como A113, sigla que encabezó los documentos y planos, separados por aeropuerto y especialidad.



A partir del informe final del AI13; que contiene el desarrollo de las etapas con los resultados de los ensayos destructivos y no destructivos, además de la recopilación de estudios anteriores, se trabaja en el presente informe. Se analizan los trabajos de construcción posterior, que pudieron modificar las secciones características allí indicadas por aeropuerto.

Considerando que el estudio AI13 recopiló toda la información disponible hasta el año de su realización, no será materia del presente estudio analizar nuevamente los antecedentes previos por aeropuerto, entendiéndose que se concluyeron en forma fidedigna las características de las diferentes secciones que componen los pavimentos, con sus variaciones por construcciones a lo largo de su vida útil. Entre los estudios consultados se mencionan para el caso de Desierto de Atacama:

- a) Estudio de prefactibilidad Técnico-Económica Construcción Nuevo Aeropuerto de Copiapó - Ferrer y Asociados Ing. Consultores S.A. (FAIC) – 1999
- b) Anteproyecto Referencial, Construcción Nuevo Aeropuerto de Copiapó - Ferrer y Asociados Ing. Consultores S.A. (FAIC) – 2000
- c) Diagnóstico de Pavimentos Mediante Método PCI Aeropuerto Desierto de Atacama, años 2008-2013, elaborado por Ferrer y Asociados Ing. Consultores (FAIC).
- d) Catastro Nueva Infraestructura 2007 al 2013 - Dirección Regional de la Dirección de Aeropuertos.

Posterior al estudio AI13 se desarrollaron los siguientes proyectos y estudios:

- a) Diagnóstico de Pavimentos Mediante Método PCI Aeropuerto Desierto de Atacama, años 2014-2020, elaborado por Ferrer y Asociados Ing. Consultores (FAIC).

Considerando que esta empresa consultora ha llevado a cabo la inspección anual de pavimentos mediante el método PCI, de código DAT(año), se tiene información de 1ra fuente para confirmar que los pavimentos no han sido intervenidos en los últimos años. Únicamente a pista y rodajes se les aplicó un riego asfáltico que no hace variar las secciones características ni las estructuras, por lo que se mantiene lo indicado en el estudio AI13.

### **2.1.3 Descripción Del Área De Movimiento**

#### **2.1.3.1 Características generales**

El aeropuerto Desierto de Atacama está ubicado en la región de Atacama a unos 50 Km al Noroeste de la ciudad de Copiapó. Su referencia geográfica es 27°15' de latitud Sur y 70°46' de longitud Oeste, y se encuentra a una altura de 204 msnm.

A continuación, se indican los sectores del aeropuerto:

- Pista Principal, denominada 17-35, tiene una orientación Norte Sur con una longitud pavimentada de 2.400m y un ancho de 45m. Se construyó en su totalidad con pavimento asfáltico.
- Plataforma de estacionamiento de aviación comercial; de hormigón. tiene unas dimensiones aprox. de 70m de ancho por 230m de largo, a lo que se añade un ancho de pavimento asfáltico que une dicha zona de hormigón con el rodaje Delta, las dimensiones de esta zona son de 63m de ancho por 230m de largo.
- Plataforma de aviación general; 100% de asfalto, mide 80m de ancho por 80m de largo.
- Calle de Rodaje Bravo, perpendicular a la Pista, conecta con el rodaje Delta que es paralelo a la plataforma de estacionamiento y la pista, tiene unas dimensiones de 275m de largo por 23m de ancho y está compuesta en toda su extensión por pavimento asfáltico.
- Calle de Rodaje Charlie; también de asfalto, es perpendicular a la Pista, tiene unas dimensiones de 310m de largo por 23m de ancho. Conecta con la plataforma de aviación general y con el rodaje Delta.
- Por último, el rodaje Delta; de asfalto, conecta los rodajes Charlie y Bravo de forma perpendicular, siendo este paralelo a la pista. Sus dimensiones son 562m de largo por 23m de ancho.
- El aeropuerto posee márgenes de pavimento asfáltico, tanto en la pista como en rodajes y plataforma.



### 2.1.3.2 Características físicas estructurales

Para la identificación de las estructuras de los pavimentos se partirá de la base de la subdivisión según las secciones características de los pavimentos del aeropuerto. Podrán existir secciones con igual estructura, pero diferente data y/o uso, por ello se hace imprescindible contar con esta subdivisión, la que servirá para los análisis posteriores de sus características funcionales de acuerdo a los métodos de ensayos, entre ellos PCI.

Considerando las particularidades de los pavimentos del aeropuerto, se hace una subdivisión inicial de éstos según las ramas, que serán las partes fácilmente identificables de acuerdo a su función, que en este caso corresponderán a Pista, Rodajes, Plataforma u otros sectores de diferente uso.

Las ramas; en general, se encuentran divididas en componentes más pequeñas denominadas secciones. Cada rama consistirá en a lo menos una sección, pero podrá contener más si las características del pavimento varían a través de la rama. Los factores a considerar para dividir una rama en secciones serán, por ejemplo: la estructura del pavimento, el tráfico, la edad u otra característica que las diferencie.

En base a lo anterior, cabe mencionar que; por ejemplo, a pesar que una pista tenga igual estructura y año de construcción, ha de diferenciarse en dos secciones longitudinalmente: borde y centro, ya que no tienen igual carga aplicada, siendo el centro siempre el de mayor utilización.

A continuación, se presenta la tabla de secciones características con los datos solicitados en los TR para esta sub etapa:

*Tabla 2.1: Secciones Características Aeropuerto Desierto de Atacama de Copiapó*

UBICACIÓN	SECCIÓN	TIPO DE PAVIMENTO	DIMENSIONES (m)		SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	AÑO CONSTRUCCIÓN	ESPESOR (cm)			
			LARGO	ANCHO			A	H	B	SB
Pista	PI-1	Flexible	1.960	15	29.400	2004	10		20	20
	PI-2	Flexible	1.960	30	58.800	2004	10		20	20
	U17-1 (N)	Flexible	120	93	9.052	2004	10		20	20
	U35-1 (S)	Flexible	120	93	9.070	2004	10		20	20
Rod. Bravo	RB-1	Flexible	290	23	8.644	2004	10		20	20
Rod. Charlie	RC-1	Flexible	314	23	9.100	2004	10		20	20
Rod. Delta	RD-1	Flexible	562	23	14.290	2004	10		20	20
Plat. Comercial	PL-1	Rígido	231	70	16.170	2004		33		15
	PL-2	Flexible	255	48	11.772	2004	10		20	20
Plat. General	PL-3	Flexible	80	80	6.400	2004	5		10	20

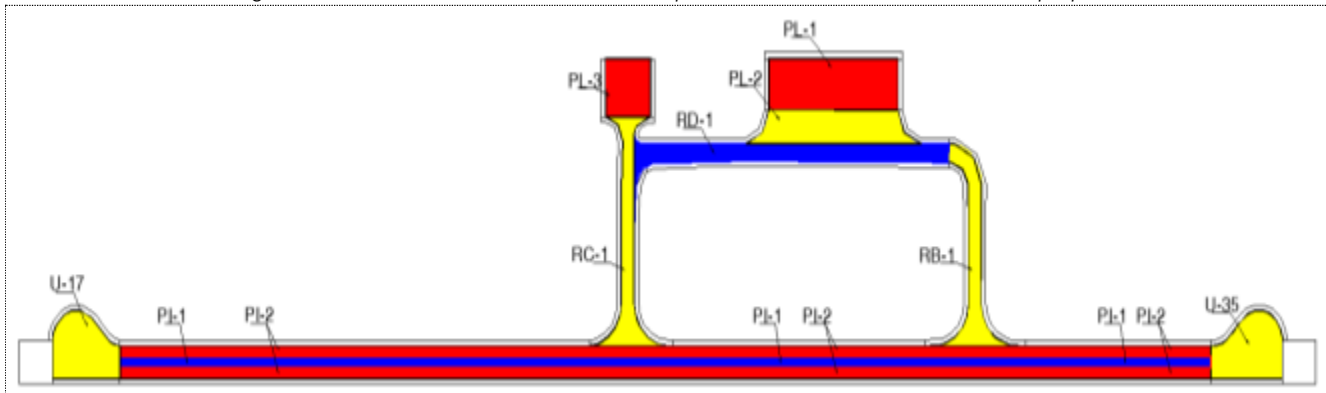
Fuente: Elaboración Propia

Donde:

- A: Asfalto
- H: Hormigón
- B: Base
- SB: Subbase

A continuación, se presenta una figura esquemática de las secciones que componen el aeropuerto.

Figura 2.1: Secciones Características Aeropuerto Desierto de Atacama de Copiapó



Fuente: AZN20-Desierto de Atacama

#### 2.1.4 Tráfico Flota Comercial Y General Actual

A continuación, se presenta un detalle del tipo y cantidad de tráfico a la cual se encuentran sometidos los pavimentos de cada uno de los aeropuertos analizados, en la situación actual e histórica de cada uno de ellos.

El análisis del tráfico se desarrolla sobre la base de las bitácoras detalladas de operaciones por cada aeródromo de la red aeroportuaria primaria de la zona norte, para el periodo enero 2009 – septiembre 2020, en este caso particular el correspondiente al Aeropuerto Desierto de Atacama de Copiapó.

Brevemente descrito, el registro operativo en bitácoras incluye las principales características de cada operación aeronáutica que se desarrolla en cada uno de los aeródromos analizados de la red primaria norte, en estructura de base de datos. El registro completo de las bitácoras de actividad incluye entre otros, los siguientes campos de descripción:

- Código OACI del aeródromo
- Fecha y hora de la operación
- Aterrizaje, despegue u otra
- Actividad (comercial, militar, de carga, etc.)
- Empresa u operador
- Matrícula de la aeronave
- Tipo de aeronave (marca - modelo)

##### 2.1.4.1 Consideraciones especiales

Se presenta a continuación, para cada uno de los aeropuertos analizados, la estadística completa de las operaciones anuales para el período 2009 – 2019, caracterizadas por tipo de actividad. El año 2020 considera el período enero a septiembre.

Adicionalmente, se presenta un cuadro resumen y la gráfica con la evolución de las principales actividades desarrolladas en cada aeródromo y su participación relativa.

A partir del año 2014, se observa un cambio en el registro de las operaciones militares, fiscales y policiales, las que, a partir de esa fecha, dejan de registrarse en las bitácoras DGAC. Por esta razón, no se presentan en los gráficos de tendencia.

Por efectos de la pandemia y las restricciones sanitarias, las operaciones del año 2020 no son representativas de un año normal y por lo mismo tampoco se presentan en los gráficos para no distorsionar la tendencia histórica de cada aeródromo.



2.1.4.2 Operaciones históricas período 2009 – 2020

Tabla 2.2: Operaciones Totales según tipo de Actividad. 2009 – 2020. Desierto de Atacama

SCAT - Atacama																											
Año	Actividades																				Total General						
	2	A	B	C	D	E	F	G	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T		U	V	X	Y	Z	
2009	11	2	12	11		42		10	18	4		51		8	1.092	300	30	284	758		4.386		40		1	7060	
2010	15		9	8				31	36			12	9	92	1.179	281	59	414	905	12	5.197		34	38		8331	
2011	22	1	19	33	1			13	120			2	3	95	3.670	569	75	470	692		6.658		2	35	2	12482	
2012	13		340	11	1	52		11	73			2	10		123	2.783	603	44	818	719		6.549		7		12159	
2013	68	4		8		69			27			2	23		125	1.914	369	17	733	703		6.790		1	5	3	10861
2014	26		2	3	1	33			45			4	22	3	80	951	235	13	517	279	2	4.411	2	1	1	3	6634
2015	2								22						151	49	309	3	803	14		3.462					4816
2016			3						48			3	5	129	6	192	2	424	8		3.502	8	19	18		4367	
2017			2						62			9	4	97		289		469			4.394		128	6	8	5468	
2018				2			2		29					24	113	8	414	2	274	1	4.390		80		5	5344	
2019									19					7	92	28	269		140		4.543		84			5182	
2020		1		2					16						70	6	10		51		1.331		42		1	1530	
<b>Total general</b>	<b>157</b>	<b>8</b>	<b>387</b>	<b>78</b>	<b>3</b>	<b>196</b>	<b>2</b>	<b>65</b>	<b>515</b>	<b>4</b>	<b>22</b>	<b>130</b>	<b>43</b>	<b>1.175</b>	<b>11.686</b>	<b>3.840</b>	<b>245</b>	<b>5.397</b>	<b>4.079</b>	<b>14</b>	<b>55.613</b>	<b>10</b>	<b>438</b>	<b>103</b>	<b>24</b>	<b>84.234</b>	
	0,2%	0,0%	0,5%	0,1%	0,0%	0,2%	0,0%	0,1%	0,6%	0,0%	0,0%	0,2%	0,1%	1,4%	13,9%	4,6%	0,3%	6,4%	4,8%	0,0%	66,0%	0,0%	0,5%	0,1%	0,0%		
	Policial	Prospección pesquera	Prospección Minera	Otras prospecciones	Fumigaciones	Tratamiento de nubes	Extinción de incendios	Patrullajes No Militares	Fotos aéreas	Observaciones Meteorológicas	Periodismo y filmaciones	Inspecciones de obras	Propaganda Aérea	Ambulancias	Instrucción	Deportivas	Fiscales	Particulares	Militares	Traslado de carga	Comerciales	Vuelos demostrativos	Vuelo de traslado s/pax	Vuelo de Prueba	Vuelo Ferry		

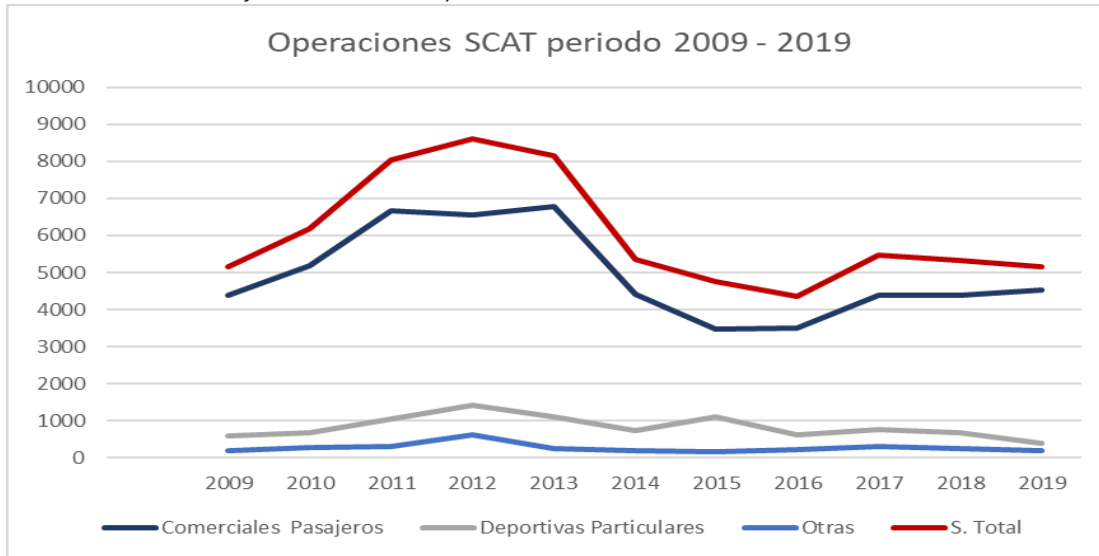
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.3: Evolución Histórica de Principales Actividades. Desierto de Atacama. Período 2009 – 2020.

Militares	Año	Comerciales Pasajeros	Deportivas Particulares	Otras	S. Total			
1.891	2009	4.386	85%	584	11%	199	4%	5.169
2.158	2010	5.197	84%	695	11%	281	5%	6.173
4.459	2011	6.658	83%	1.039	13%	326	4%	8.023
3.559	2012	6.549	76%	1.421	17%	630	7%	8.600
2.702	2013	6.790	83%	1.102	14%	267	3%	8.159
1.269	2014	4.411	82%	752	14%	202	4%	5.365
68	2015	3.462	73%	1.112	23%	174	4%	4.748
16	2016	3.502	80%	616	14%	233	5%	4.351
0	2017	4.394	80%	758	14%	316	6%	5.468
11	2018	4.390	82%	688	13%	255	5%	5.333
28	2019	4.543	88%	409	8%	202	4%	5.154
6	2020	1.331	87%	61	4%	132	9%	1.524
	<b>Total periodo</b>	<b>55.613</b>	<b>82%</b>	<b>9.237</b>	<b>13%</b>	<b>3.217</b>	<b>5%</b>	<b>68.067</b>

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 2.1: Evolución y Tendencia Histórica. Desierto de Atacama



Fuente: Elaboración Propia

## 2.2 ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LABORATORIO

### 2.2.1 Introducción

#### 2.2.1.1 Objetivos y alcances del estudio

El presente capítulo contiene los resultados y conclusiones del Estudio de Mecánica de Suelos, solicitado a RyV Ingenieros, de acuerdo con los requerimientos del proyecto denominado “Diagnóstico Auscultación de Pavimentos Aeroportuarios de La Red Primaria Zona Norte”, para el Aeródromo Desierto de Atacama, ubicado en la ciudad de Caldera, Región de Atacama.

Figura 2.2: Ubicación del terreno



Fuente: Google earth

Coordenadas UTM (324078.00 m E; 6983108.00 m S, en zona 19J) Según datum WGS84

El estudio tiene como base el conocimiento global de los suelos de la zona, características y antecedentes del proyecto, además de la exploración geotécnica y ensayos de laboratorio. Su objetivo es cuantificar las propiedades geomecánicas del suelo, para pavimentos, procedimientos para excavaciones y las recomendaciones y especificaciones técnicas para el correcto diseño, construcción y control de las obras.

#### 2.2.1.2 Características del proyecto

- Destino: Auscultación e inspección de pavimentos existentes.
- Terreno: Plano, con pista y estructuras correspondientes al actual Aeropuerto en funcionamiento.

#### 2.2.1.3 Marco de referencia

A continuación, se resumen los antecedentes que definen el marco de referencia del estudio, incluyendo la geometría de la exploración diseñada para cumplir los objetivos del estudio.

- a) Visitas a terreno y exploración geotécnica, entre los días 26 al 29 de enero de 2021.
- b) Inspección visual de las muestras extraídas en terreno.
- c) Informe de ensayos de laboratorio N° 8446-0-21, emitido por Laboratorios ONE Geotecnia.
- d) Antecedentes del proyecto proporcionados por el cliente.
- e) Otros estudios geotécnicos realizados en el sector.

Modificaciones en el proyecto original, pueden introducir cambios importantes en el estudio. Eventualmente, puede ser necesario reorientar la exploración geotécnica, introduciendo nuevos puntos de exploración o profundidades de exploración mayores.

#### 2.2.1.4 Plano de ubicación de calicata

Figura 2.3: Ubicación Calicatas



Fuente: Elaboración Propia



## 2.2.2 Alcance

### 2.2.2.1 Exploración geotécnica de suelos

La exploración geotécnica de suelos se inició con un reconocimiento de superficie, destinado a definir las características globales del terreno y situaciones particulares que pudiesen afectarlo. A partir de ella, se dio por aprobada la red de pozo de exploración, consistente en 10 calicatas de hasta 3.0m de profundidad, ubicadas según se detallan en el croquis de la sección 2.2.1.4.

Exploración que originalmente todas calicatas de 3.0m de profundidad, sin embargo, dada la dureza de algunos estratos y presencia de rellenos susceptibles a desmoronamientos, fue imposible seguir excavando manualmente.

Las calicatas, excavadas de forma manual y mecánicamente mediante uso de martillo neumático (cango), fueron inspeccionadas y sometidas a muestreo por personal de esta oficina, levantándose el registro estratigráfico detallado, que se presenta en la sección 2.2.2.2.

Dados los tipos de suelos encontrados y la naturaleza de las obras, se obtuvieron muestras perturbadas e inalteradas, las que fueron analizadas y seleccionadas para definir el programa de ensayos, que se llevó a cabo en un laboratorio especialista y certificado.

### 2.2.2.2 Estratigrafía

De acuerdo con la información obtenida de la exploración, el subsuelo presenta la siguiente estratigrafía, cuyas características y dimensiones se entregan a continuación.

#### a) Calicata 1

Calicata	Horizonte Nº	Rango Profundidad		Espesor	Descripción visual
1	1	0.0	0.6	0.6	<b>Relleno</b> , sin olor, compuesto de grava de origen fluvial y chancada en matriz areno arcillosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo de cementación baja y de compacidad alta. Contiene clastos sanos de formas redondeadas y angulosas de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GP.
	2	0.6	2.5	1.9	<b>Arena limosa</b> , olor térreo, de grano fino, plasticidad nula, humedad baja y color café grisáceo. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 8% y un porcentaje de grava de aproximadamente 27%. Posee una cementación nula y una consistencia media. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP-SM.
<b>Observaciones</b>					
Calicata detenida a profundidad informada por derrumbe al interior de la calicata.					
A la fecha de exploración, enero 26 de 2021, la napa freática no fue detectada dentro de las profundidades reconocidas					

#### b) Calicata 2

Calicata	Horizonte Nº	Rango Profundidad		Espesor	Descripción visual
2	1	0.0	0.4	0.4	<b>Relleno</b> , sin olor, compacto, compuesto de grava de origen fluvial en matriz areno arcillosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo de cementación baja y de compacidad alta. Contiene clastos sanos de forma redondeada de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GP.
	2	0.4	1.2	0.8	<b>Relleno</b> , sin olor, no compacto, compuesto de arena limosa de grano grueso, plasticidad nula, humedad baja y color café grisáceo. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 10% y un porcentaje de grava de aproximadamente 44%. Posee una cementación nula y una consistencia blanda. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP-SM.
	3	1.2	2.3	1.1	<b>Arena limosa</b> , olor térreo, de grano grueso, plasticidad nula, humedad baja y color café grisáceo. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 10% y un porcentaje de grava de aproximadamente 44%. Posee una cementación nula y una consistencia blanda. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP-SM.



**Observaciones**

Calicata detenida a profundidad informada por derrumbe al interior de la calicata.

A la fecha de exploración, enero 26 de 2021, la napa freática no fue detectada dentro de las profundidades reconocidas

c) Calicata 3

Calicata	Horizonte Nº	Rango Profundidad		Espesor	Descripción visual
3	1	0.0	0.6	0.6	<b>Relleno</b> , sin olor, compuesto de grava de origen fluvial en matriz arena arcillosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo de cementación baja y de compacidad alta. Contiene clastos sanos de forma redondeada de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GP.
	2	0.6	1.8	1.2	<b>Arena limosa</b> , olor térreo, de grano grueso, plasticidad nula, humedad baja y color café grisáceo. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 9% y un porcentaje de grava de aproximadamente 3%. Ensayo con hidrómetro indica un 4.2% de arcillas. Posee una cementación nula y una consistencia blanda. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP-SM.
	3	1.8	3.0	1.2	<b>Arena limpia</b> , olor térreo, de grano grueso, plasticidad nula, humedad baja y color gris. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 5% y un porcentaje de grava de aproximadamente 5%. Posee una cementación nula y una consistencia blanda. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP.

**Observaciones**

A la fecha de exploración, enero 26 de 2021, la napa freática no fue detectada dentro de las profundidades reconocidas

d) Calicata 4

Calicata	Horizonte Nº	Rango Profundidad		Espesor	Descripción visual
4	1	0.0	1.3	1.3	<b>Relleno</b> , sin olor, compuesto de grava de origen fluvial en matriz arena limosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo de cementación baja y de compacidad alta. Contiene clastos sanos de forma redondeada de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. Presenta un 11% de finos y 32% de arenas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GP-GM.
	2	1.3	3.0	1.7	<b>Arena limosa</b> , olor térreo, de grano grueso, plasticidad nula, humedad baja y color gris. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 5% y un porcentaje de grava de aproximadamente 5%. Posee una cementación nula y una consistencia blanda. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP.

**Observaciones**

A la fecha de exploración, enero 26 de 2021, la napa freática no fue detectada dentro de las profundidades reconocidas

e) Calicata 5

Calicata	Horizonte Nº	Rango Profundidad		Espesor	Descripción visual
5	1	0.0	0.2	0.2	<b>Relleno</b> , sin olor, compuesto de grava de origen fluvial en matriz arena arcillosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo de cementación baja y de compacidad alta. Contiene clastos sanos de forma redondeada de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GP.
	2	0.2	0.9	0.7	<b>Arena limosa</b> , olor térreo, de grano grueso, plasticidad nula, humedad baja y color gris. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 19% y un porcentaje de grava de aproximadamente 9%. Posee una cementación nula y una consistencia alta. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SM.
	3	0.9	1.8	0.9	<b>Arena limosa</b> , olor térreo, de grano grueso, plasticidad nula, humedad baja y color gris. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 5% y un porcentaje de grava de aproximadamente 5%. Posee una cementación nula y una consistencia blanda. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP.

**Observaciones**

Calicata detenida a profundidad informada por derrumbe al interior de la calicata.

A la fecha de exploración, enero 26 de 2021, la napa freática no fue detectada dentro de las profundidades reconocidas



f) Calicata 6

Calicata	Horizonte Nº	Rango Profundidad		Espesor	Descripción visual
6	1	0.0	0.4	0.4	<b>Relleno</b> , sin olor, compuesto de grava de origen fluvial en matriz areno arcillosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo de cementación baja y de compacidad alta. Contiene clastos sanos de forma redondeada de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GP.
	2	0.4	1.4	1.0	<b>Relleno</b> , sin olor, no compacto, compuesto de grava de origen chancado y fluvial en matriz areno limosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo no cementado y de compacidad media. Contiene clastos sanos de forma sub redondeada de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GP-GM.
	3	1.4	1.6	0.2	<b>Arena limosa, tosca</b> , olor térreo, de grano grueso, plasticidad nula, humedad baja y color café grisáceo. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 10% y un porcentaje de grava de aproximadamente 44%. Posee una cementación alta y una consistencia alta. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP-SM.

**Observaciones**

Calicata detenida a profundidad informada por dureza por cementación alta de horizonte 3.

A la fecha de exploración, enero 26 de 2021, la napa freática no fue detectada dentro de las profundidades reconocidas

g) Calicata 7

Calicata	Horizonte Nº	Rango Profundidad		Espesor	Descripción visual
7	1	0.0	0.7	0.7	<b>Relleno</b> , sin olor, compuesto de grava de origen fluvial en matriz areno arcillosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo de cementación baja y de compacidad alta. Contiene clastos sanos de forma redondeada de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GP.
	2	0.7	2.5	1.8	<b>Arena limosa</b> , olor térreo, de grano fino, plasticidad nula, humedad baja y color café grisáceo. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 5% y un porcentaje de grava de aproximadamente 13%. Posee una cementación nula y una consistencia media. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP-SM.

**Observaciones**

Calicata detenida a profundidad informada por derrumbe al interior de la calicata.

A la fecha de exploración, enero 26 de 2021, la napa freática no fue detectada dentro de las profundidades reconocidas

h) Calicata 8

Calicata	Horizonte Nº	Rango Profundidad		Espesor	Descripción visual
8	1	0.0	1.2	1.2	<b>Relleno</b> , sin olor, compuesto de grava de origen fluvial en matriz areno arcillosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo de cementación baja y de compacidad alta. Contiene clastos sanos de forma redondeada de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GW-GM.
	2	1.2	2.3	1.1	<b>Arena limosa</b> , olor térreo, de grano fino, plasticidad nula, humedad baja y color café grisáceo. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 5% y un porcentaje de grava de aproximadamente 13%. Posee una cementación nula y una consistencia media. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP-SM.

**Observaciones**

Calicata detenida a profundidad informada por derrumbe al interior de la calicata.

A la fecha de exploración, enero 26 de 2021, la napa freática no fue detectada dentro de las profundidades reconocidas

i) Calicata 9

Calicata	Horizonte Nº	Rango Profundidad		Espesor	Descripción visual
9	1	0.0	0.6	0.6	<b>Relleno</b> , sin olor, compuesto de grava de origen fluvial en matriz arena arcillosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo de cementación baja y de compacidad alta. Contiene clastos sanos de forma redondeada de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GP.
	2	0.6	1.8	1.2	<b>Relleno</b> , sin olor, compuesto de grava de origen fluvial en matriz arena limosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo no cementado y de compacidad media. Contiene clastos sanos de forma sub redondeada de tamaño máximo de 4" y tamaño medio de 2". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GW-GM.
	3	1.8	2.55	0.75	<b>Arena limosa</b> , olor térreo, de grano grueso, plasticidad nula, humedad baja y color café grisáceo. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 10% y un porcentaje de grava de aproximadamente 44%. Posee una cementación alta y una consistencia alta. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP-SM.
<b>Observaciones</b>					
Calicata detenida a profundidad informada por derrumbe al interior de la calicata. A la fecha de exploración, enero 26 de 2021, la napa freática no fue detectada dentro de las profundidades reconocidas					

j) Calicata 10

Calicata	Horizonte Nº	Rango Profundidad		Espesor	Descripción visual
10	1	0.0	0.6	0.6	<b>Relleno</b> , sin olor, compuesto de grava de origen fluvial en matriz arena arcillosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo de cementación baja y de compacidad alta. Contiene clastos sanos de forma redondeada de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GP.
	2	0.6	1.5	0.9	<b>Relleno</b> , sin olor, compuesto de grava de origen fluvial en matriz arena limosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo no cementado y de compacidad media. Contiene clastos sanos de forma sub redondeada de tamaño máximo de 4" y tamaño medio de 2". No se observan raíces ni raicillas. Presenta un 5% de finos y 20% de arenas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GW-GM.
	3	1.5	3.0	1.5	<b>Arena limosa</b> , olor térreo, de grano grueso, plasticidad nula, humedad baja y color café grisáceo. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 10% y un porcentaje de grava de aproximadamente 44%. Posee una cementación alta y una consistencia alta. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP-SM.
<b>Observaciones</b>					
A la fecha de exploración, enero 26 de 2021, la napa freática no fue detectada dentro de las profundidades reconocidas					

2.2.2.3 Modelo estratigráfico

De acuerdo con la información obtenida de la exploración, el subsuelo presenta un perfil compuesto por las siguientes unidades estratigráficas fundamentales, cuyas características y dimensiones se entregan a continuación.

**UNIDAD U1:** Relleno, sin olor, compuesto de grava de origen fluvial en matriz arena arcillosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo de cementación baja y de compacidad media alta. Contiene clastos sanos de forma redondeada de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GP, GP-GM, GW-GM, SP-SM.

Las profundidades entre las que se extiende este estrato se detallan en la tabla siguiente:

Calicata Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Desde, [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hasta, [m]	0.60	0.40	0.60	1.30	0.20	1.40	0.70	1.20	1.80	1.50



**UNIDAD U2:** Arena limpia a limosa, olor térreo, de grano grueso, plasticidad nula, humedad baja y color café grisáceo. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 5 a 10% y un porcentaje de grava de aproximadamente entre 10 a 44%. Posee una cementación media alta y una consistencia media alta. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP-SM, SP.

Las profundidades entre las que se extiende este estrato se detallan en la tabla siguiente:

Calicata N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Desde, [m]	0.60	0.40	0.60	1.30	0.20	1.40	0.70	1.20	1.80	1.50
Hasta, [m]	2.50	2.30	3.00	3.00	1.80	1.60	2.50	2.30	2.55	3.00

#### 2.2.2.4 Curvas granulométricas

De las diez prospecciones realizadas, se extraen muestras perturbadas para realizar ensayo de clasificación completa, las profundidades de extracción de cada muestra se detallan en la tabla siguiente:

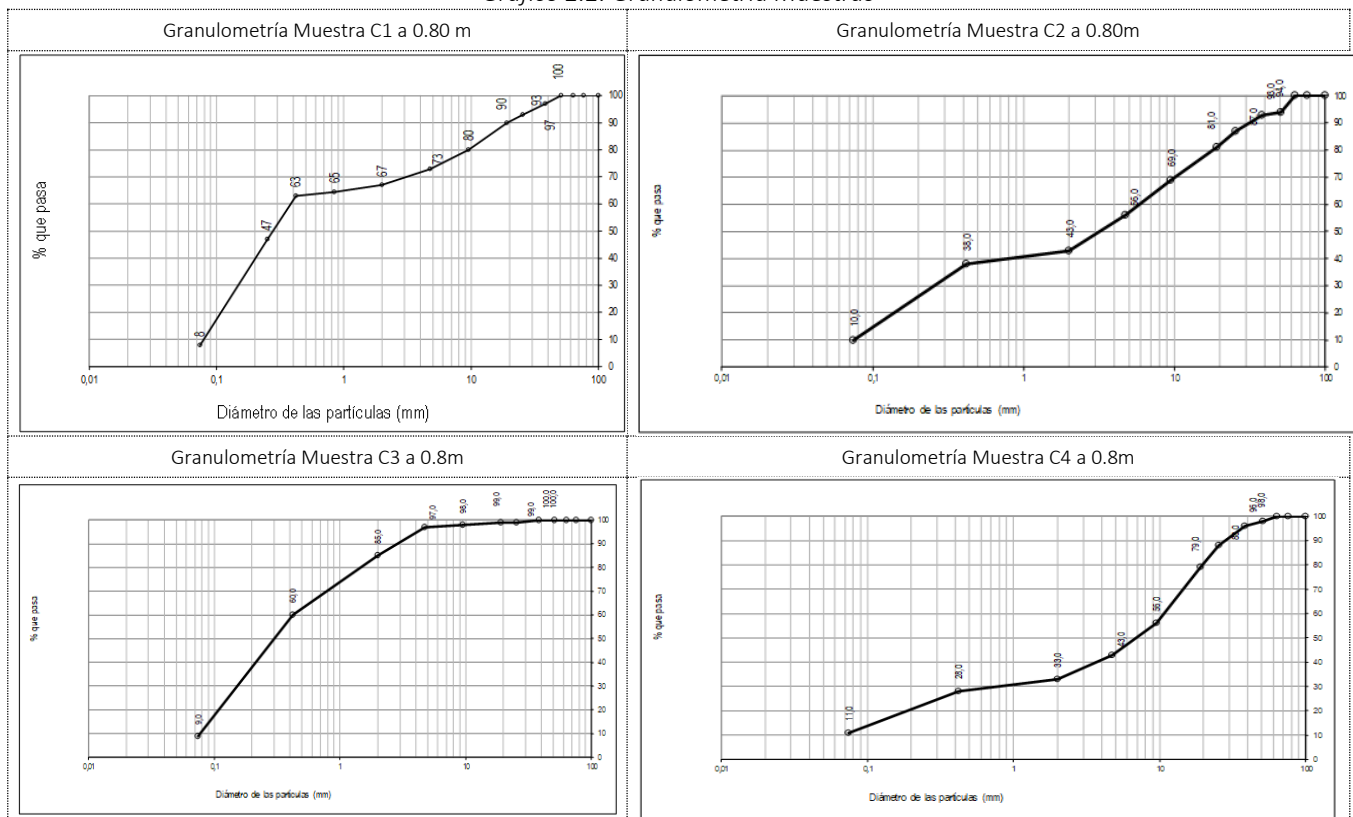
Tabla 2.4: Profundidades de extracción de muestra para ensayar.

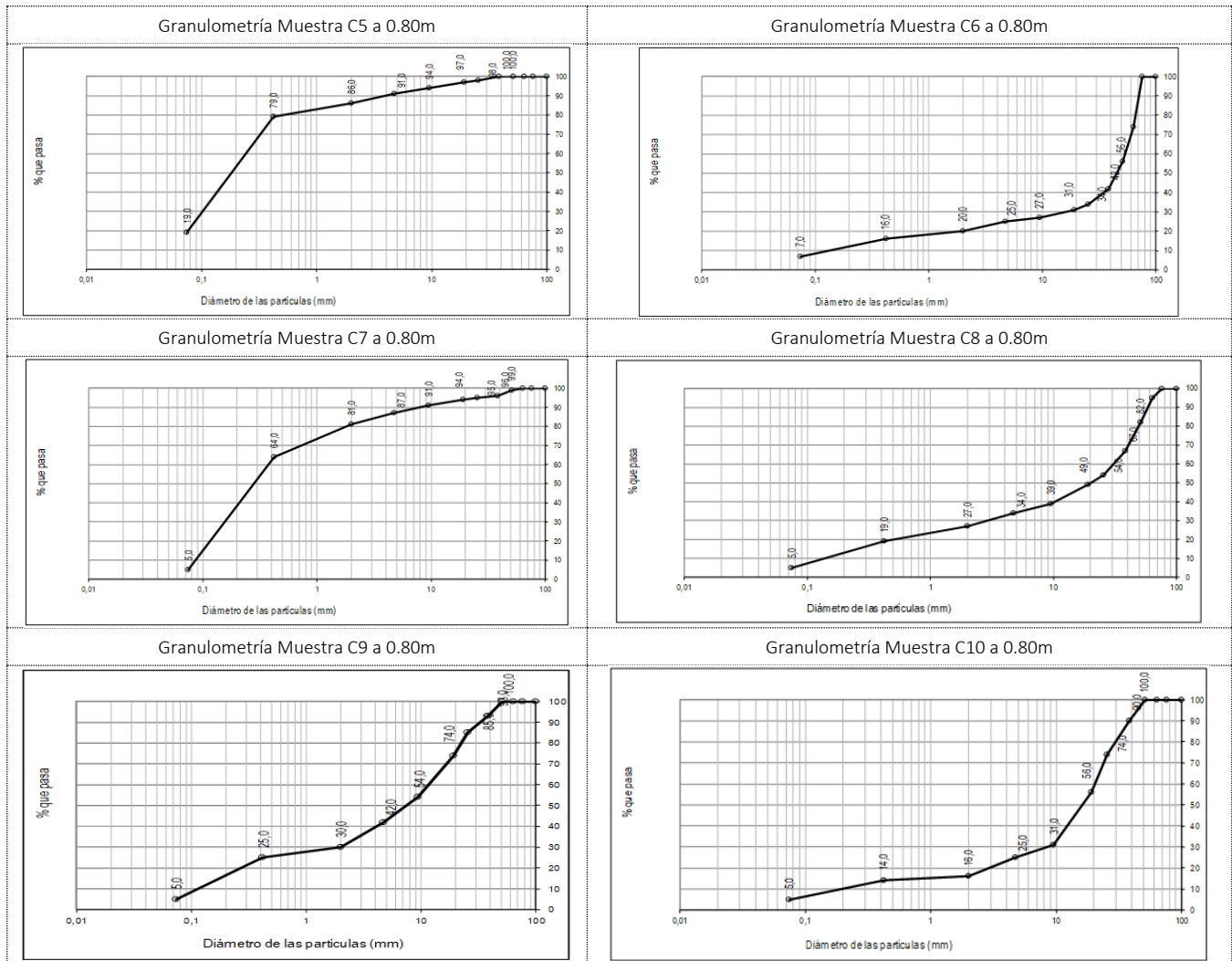
Calicata N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Profundidad, [m]	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80

Estas profundidades son representativas del estrato en el cual está apoyado el paquete estructural de pavimentación correspondiente a rellenos en las calicatas N° 4, 6, 8, 9 y 10 y a suelo natural arenoso a areno limoso en las calicatas N° 1, 2, 3, 5 y 7.

A continuación, se entregan los resultados del ensayo de granulometría de las muestras inalteradas.

Gráfico 2.2: Granulometría Muestras

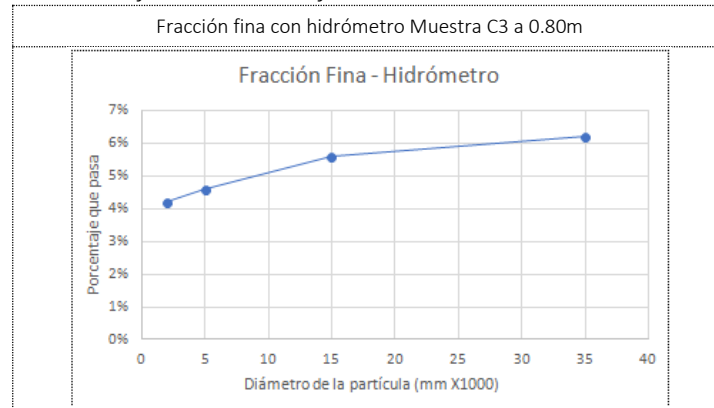




Se concluye según los gráficos obtenidos de la granulometría, que las calicatas N° 1, 2, 3, 5 y 7 presenta una cantidad de fino que pasa la malla N°200 (0.074 mm) alrededor de 5 a 19% y que la cantidad de arena que pasa la malla N°4 (4.76 mm) presenta entre un 46 hasta 88% y las calicatas N° 4, 6, 8, 9 y 10 presentaron mayor cantidad de gravas que de arena entre 57 a 75% de gravas por sobre la malla 4.76 mm, presentando un tamaño máximo de hasta 3" (76.2 mm).

Para en análisis de la fracción fina, debido a que el índice de plasticidad es No plástico (descrito en capítulo 2.5) y el porcentaje de fino que pasa la malla N°200 (0.074 mm) es menos a 12% salvo la calicata N° 5, se considera que la fracción fina corresponde a suelos limosos, sin embargo, se realizó una clasificación de suelo fino para corroborar dicha información, la cual se detalla a continuación.

Gráfico 2.3: Fracción fina con hidrómetro Muestras



El gráfico de fracción fina, se concluye que la cantidad que pasa los 0.002 mm (suelo arcilloso) corresponde a un porcentaje de 4%, en cambio para el caso de suelo limoso corresponde a un porcentaje que pasa sobre el 6%, corroborando que la presencia predominante de suelo fino es limosa.

#### 2.2.2.5 Límites de Atterberg y otros ensayos

Según lo indicado en bases de referencia, se han ensayado los límites de Atterberg de cada muestra, las profundidades son representativas del estrato en el cual está apoyado el paquete estructural de pavimentación, correspondiente a rellenos en las calicatas N° 4, 6, 8, 9 y 10 y a suelo natural arenoso a areno limoso en las calicatas N° 1, 2, 3, 5 y 7. Sin embargo, debido a la baja cantidad de finos y poca plasticidad se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 2.5: Resultados Límites Atterberg

Calicata	Profundidad [m]	LL [%]	LP [%]	IP [%]	W [%]	Peso Específico bajo Malla N° 4
C1	0.80	N/D	--	N.P.	0.7	2.560
C2	0.80	N/D	--	N.P.	1.6	2.623
C3	0.80	N/D	--	N.P.	1.4	2.667
C4	0.80	N/D	--	N.P.	1.6	2.733
C5	0.80	N/D	--	N.P.	2.0	2.609
C6	0.80	N/D	--	N.P.	2.2	2.771
C7	0.80	N/D	--	N.P.	0.8	2.567
C8	0.80	N/D	--	N.P.	1.0	2.602
C9	0.80	N/D	--	N.P.	0.8	2.635
C10	0.80	N/D	--	N.P.	1.0	2.654

Fuente: Elaboración propia

En donde:

- LL : Límite Líquido
- LP : Límite Plástico
- IP : Índice de Plasticidad
- W : Relación porcentual del peso de agua existente en la masa de suelo.
- N/D : No detectado
- N.P. : No plástico

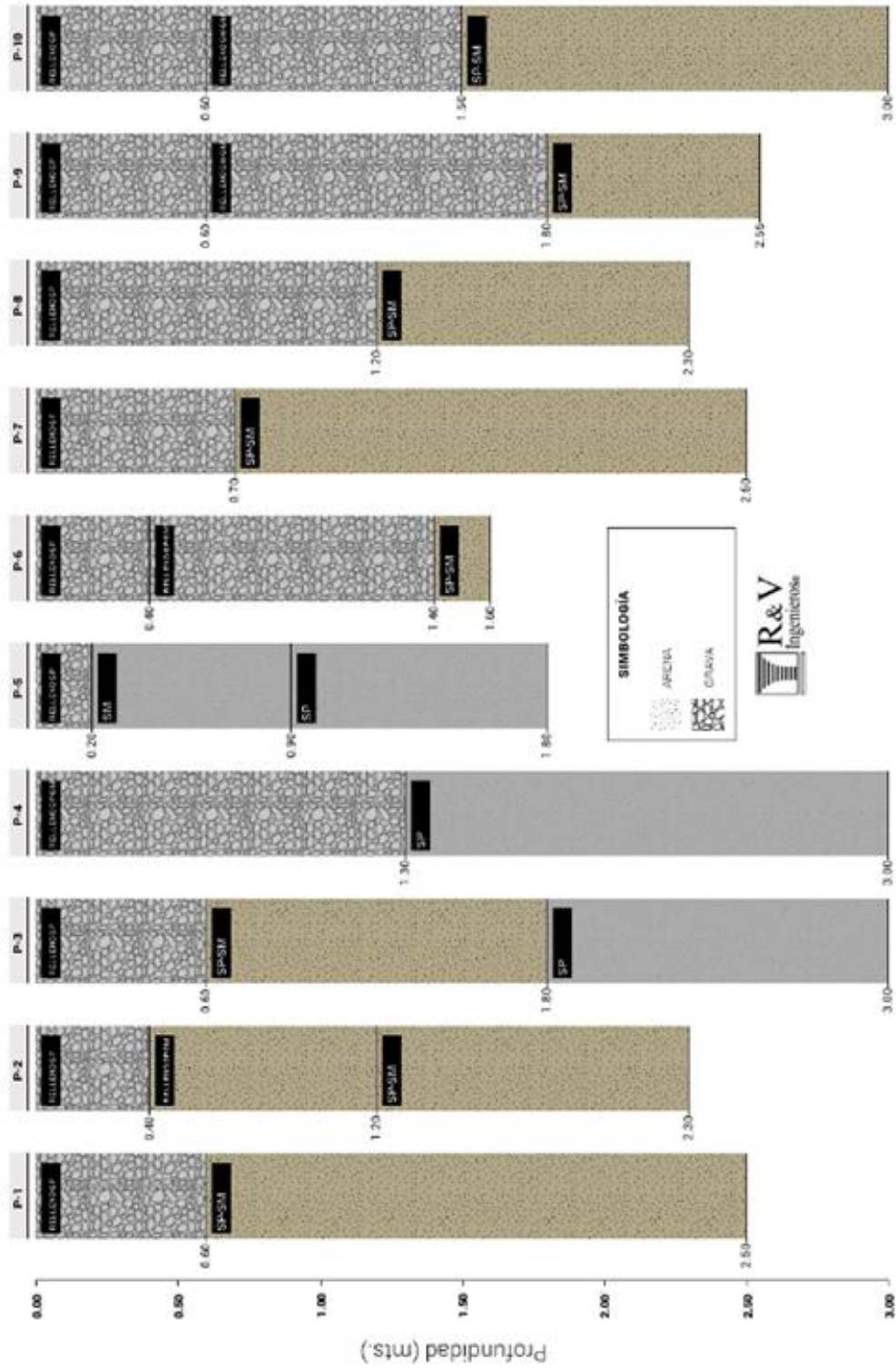
#### 2.2.2.6 Situación del nivel freático

A la fecha de la exploración, en enero de 2021, el nivel freático no fue detectado dentro de las profundidades reconocidas.

Sólo se informa la situación detectada a la fecha de exploración, desconociéndose su variación estacional y a través del tiempo, tema que escapa a esta especialidad.

2.2.2.7 Perfil estratigráfico

Figura 2.4: Perfiles





### 2.2.2.8 Ensayo de laboratorio realizados

A continuación, se entrega un detalle de los ensayos realizados según los términos de referencia.

Tabla 2.6: Ensayos de laboratorio realizados

Ensayos	Aeropuerto Desierto de Atacama									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Descripción visual, táctil y olfativa ASTM D2488	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Perfil estratigráfico ASTM D 2487	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Determinación contenido de humedad Nch 1515 Of 1979	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Determinación de la granulometría (8.102.M.C.Vol 8diciembre 2003)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Determinación límite líquido Nch 1517/1 Of. 1979	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Determinación límite plástico Nch 1517/2 Of. 1979	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Densidad de partículas sólidas bajo tamiz n° 4 Nch 1532 Of. 1980	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Humedad Natural Nch 1515 Of. 1979	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Clasificación de suelos ASTM D2487-11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Proctor Modificado Nch 1534/2 Of. 79	x	x	x	x	x					
Determinación de soporte california Nch 1852 Of. 1981	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Determinación de la densidad seca máxima ASTM D4253-16						x	x	x	x	x
Determinación de la densidad Sscs mínima ASTM D4254-16						x	x	x	x	x
Análisis granulométrico- Método del hidrómetro ASTM D422-63 2007			x							

Fuente: Elaboración propia

Según los términos de referencia, hay ensayos que no aplican, los cuales se indican a continuación:

- Densidad de partículas sólidas sobre tamiz N°4: Los ensayos de laboratorio no presentan sobretamaños.
- Densidad aparente: Se mantiene los rangos entregados con los ensayos de Densidad Relativa descritos en capítulo 3.1, tabla 2.8.

### 2.2.3 Propiedades Del Diseño

#### 2.2.3.1 Parámetros para el diseño estructural de pavimentos

Para reunir los antecedentes necesarios para el proyecto de pavimentación, se realizó un estudio del material existente hasta las profundidades reconocidas. Personal de esta oficina extrajo muestras representativas del suelo, las que fueron inspeccionadas visualmente para definir ensayos de clasificación, Proctor, Densidades Máximas y mínimas; y Relación de Soporte California (C.B.R.), las que fueron ensayadas en los laboratorios, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla siguiente. Estas profundidades son representativas del estrato en el cual está apoyado el paquete estructural de pavimentación correspondiente a rellenos en las calicatas N° 4, 6, 8, 9 y 10 y a suelo natural arenoso a areno limoso en las calicatas N° 1, 2, 3, 5 y 7.

Tabla 2.7: Resultados Proctor

Calicata	Profundidad	Material	Valor C.B.R. Para 0,2"	Valores Óptimos Proctor Modificado	
				Humedad Óptima	Densidad Máxima
N°	[m]	(USCS)	[%]	[%]	[g/cm³]
C1	0.80	SP-SM	26	7.7	1.966
C2	0.80	SP-SM	24	8.5	2.076

Calicata	Profundidad	Material	Valor C.B.R. Para 0,2"	Valores Óptimos	
				Proctor Modificado	
				Humedad Óptima	Densidad Máxima
N°	[m]	(USCS)	[%]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]
C3	0.80	SP-SM	26	7.1	1.992
C4	0.80	GP-GM	50	8.4	2.163
C5	0.80	SM	31	7.8	1.974

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.8: Resultados Densidades

Calicata	Profundidad	Material	Valor C.B.R. Para 0,2"	Valores Densidad Relativa		
				Densidad Máxima	Densidad Mínima	Densidad 80%D.R.
				[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]
N°	[m]	(USCS)	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]
C6	0.80	GP-GM	50	2,166	1.897	2.106
C7	0.80	SP-SM	29	1.819	1.527	1.752
C8	0.80	GW-GM	52	2.282	1.916	2.198
C9	0.80	GW-GM	47	2.235	1.878	2.153
C10	0.80	GP-GM	59	2.268	1.905	2.185

Ensayo CBR realizado a un D.R. (Densidad Relativa) de 80%

Fuente: Elaboración Propia

#### 2.2.4 Tratamiento Para Suelos Salinos

Si bien no se han detectado suelos salinos, la ubicación del aeropuerto podría ser indicativa de que existen zonas con costras salinas o trozos con alto contenido de sales solubles los que se pudieron retirar al ejecutar los rellenos detectados, los que pueden provocar asentamientos frágiles y posible colapso de la estructura. Para evitar estos problemas, se deberá aislar el suelo salino de la humedad.

Dentro de las calicatas, realizadas, no se detectó ningún sistema adicional de impermeabilización, por lo que, para trabajos en nuevos sectores, se deberá evaluar en terreno con visita de mecánico de suelos.

Se debe evitar el ingreso de cualquier tipo de agua al subsuelo bajo los pavimentos; para lo cual se recomienda sellar muy bien las juntas de pavimentación y tratar cualquier fuente de agua que pueda producirse.

Las fuentes de agua que pueden afectar el subsuelo son:

1. Agua proveniente de riego jardines.
2. Agua proveniente de aluviones.
3. Filtraciones de las redes de agua potable.
4. Filtraciones de los sistemas de alcantarillado.

Para ello se recomienda adoptar las medidas que se indican en la norma Nch3394.

#### 2.2.5 Especificaciones Técnicas Generales

##### 2.2.5.1 Especificaciones técnicas para la construcción de pavimentos

##### 1. Escarpe

Previo al inicio de las excavaciones, bajo radieres y pavimentos deberá realizarse un escarpe. Este consistirá en la excavación y retiro de todo material inadecuado. Sin embargo, se siguiere realizar un escarpe de al menos de 10 a 20cm, en zonas de suelo natural.

Se han detectado rellenos de muy buena calidad compactos y no compactos.



Los rellenos compactos, se podrán utilizar, previa evaluación in-situ de la densidad a distintas alturas.

Los rellenos no compactos, se podrán retirar y compactar de acuerdo a indicaciones de compactación indicadas en este informe.

El retiro de relleno inadecuado, vegetal, suelto o contaminado que se encuentre en la superficie, corresponde a los 20cm de escarpe. Este escarpe deberá ser revisado y evaluado en terreno por el mecánico de suelos.

El material escarpado debe ser transportado de inmediato a botadero autorizado, con la finalidad de evitar que contaminen las excavaciones o su uso en rellenos dentro de la obra.

## 2. *Compactación de la subrasante.*

Una vez realizados los escarpes, se compactará la subrasante hasta alcanzar una densidad equivalente a un 95% de la D.M.C.S. del ensayo Proctor Modificado, en caso que el material que pasa la malla N° 200 sea mayor a 7% o hasta lograr una Densidad Relativa no inferior al 80% en caso de que el material que pasa la malla N°200 sea menor a 7%, con una variación máxima de  $\pm 2\%$ .

## 3. *Base y sub base*

De acuerdo a proyecto de pavimentación

## 4. *Control de compactación*

Durante las faenas de colocación de la base, se deberá contar con el apoyo de un Laboratorio especializado, debiéndose controlar la densidad de terreno y la granulometría del material cada 150m<sup>2</sup> por cada capa.

### 2.2.5.2 Especificaciones técnicas para rellenos

#### 2.2.5.2.1 *Rellenos Estructurales*

1. En la ejecución de rellenos estructurales podrá emplearse un material granular grueso, limpio, del tipo "estabilizado", cuya curva granulométrica deberá estar dentro del siguiente rango:

Criba o malla ASTM	%, en peso pasando
2"	100
1"	55-100
3/8"	40-70
Nº 4	35-65
Nº 10	20-50
Nº 40	10-30
Nº 200	0-15

Bajo pavimentos se puede emplear material integral de río o esteros, limitando el tamaño máximo de 4" y que el contenido de finos bajo la malla N° 200 sea inferior a 10%. Alternativamente, podrá emplearse material granular, compuesto por arena limpia, *con contenido de sales inferior a 3000mg/kg.*

El material deberá estar libre de desperdicios, conglomerados, escombros e impurezas y deberán ser químicamente inertes.

*El material seleccionado deberá ser aprobado previamente por el Inspector Fiscal, y deberá ser respaldado con ensayos pertinentes obtenidos dentro de los últimos 60 días, emitidos por un laboratorio certificado INN.*

*Los ensayos mínimos a realizar deberán ser los siguientes:*



- *Granulometría*
  - *Límites de consistencia*
  - *Clasificación de suelos*
  - *Densidad de partículas sólidas*
  - *Humedad natural*
  - *Proctor modificado o Densidad Relativa.*
  - *Sales Totales*
2. El material deberá ser esparcido en capas horizontales de espesor uniforme y según el contenido de fino se tendrá que proceder de la siguiente forma:
    - a. En caso de que el material que pasa la malla N° 200 sea mayor al 7%, deberá humedecerse homogéneamente hasta lograr el valor óptimo del ensayo Proctor Modificado con una variación máxima de  $\pm 2\%$  y luego compactarlo hasta alcanzar una densidad no inferior al 95% de la D.M.C.S. del ensayo de Proctor Modificado.
    - b. En caso de que el material que pasa la malla N° 200 sea menor al 7%, el material tendrá que ser compactado hasta lograr una Densidad Relativa no inferior al 80%.
  3. El espesor de las capas será establecido de forma tal que pueda lograrse la densidad especificada en todo su espesor con el equipo de compactación que se utilizará, en todo caso éste no podrá ser superior a 25 cm.
  4. El avance deberá ser parejo, de modo tal que no se produzcan desniveles superiores a 0.50m. entre sectores contiguos.
  5. Dada la dureza del material detectado y la presencia de roca se recomienda que las excavaciones se realicen con excavadora y picotón.
  6. Si el tamaño de la excavación lo permite, se recomienda el uso de rodillo de 1500 kg. de peso estático o superior, En el caso que al momento de hacer las obras existan construcciones vecinas cercanas, se debe limitar la energía del rodillo ya que puede afectar a las construcciones vecinas y producir daños.
  7. Bajo radiers y pavimentos, inicialmente, los controles de densidad se realizarán por lo menos cada 50m<sup>2</sup> por capa, comprobada la eficacia del operador y el procedimiento, podrán extenderse a 100m<sup>2</sup> por capa y, finalmente hasta 300m<sup>2</sup> por capa.
  8. Cada capa deberá ser aprobada por la IF y no podrá ser recubierta antes que se dé por aceptada la densidad.
  9. Los controles de densidades se deberán efectuar por un laboratorio especializado de reconocida calidad, que cuente con la aprobación previa de la IF.

#### 2.2.5.3 Recepción sellos de pavimentos

1. Dadas las condiciones de la exploración, en su totalidad, los sellos de pavimentos deben ser formalmente aprobados y recibidos por un Ingeniero Civil especialista en Mecánica de Suelos.

#### 2.2.5.4 Limitaciones de este estudio

1. Cambios en el Proyecto de infraestructura horizontal pueden invalidar total o parcialmente este informe, por lo tanto, de existir modificaciones, previas o posteriores al inicio de las obras, se debe remitir a esta oficina la versión de infraestructura horizontal a construir, y solicitar la revalidación del informe de mecánica de suelos mediante documento suscrito por su autor.

2.2.6 Anexo N°1: Registro Fotográfico

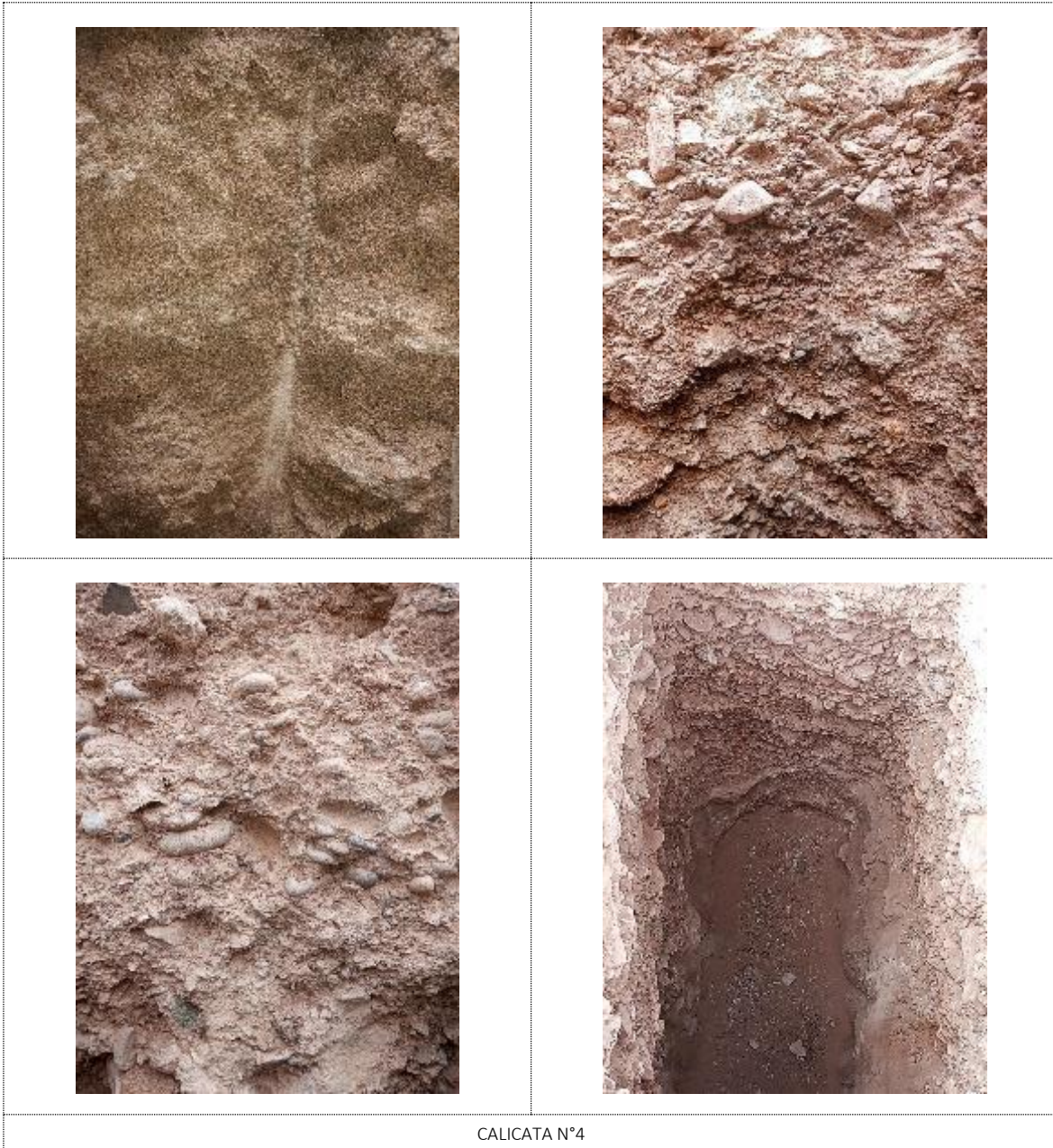




CALICATA N°2



CALICATA N°3





CALICATA N°5



CALICATA N°6



CALICATA N°7



CALICATA N°8



CALICATA N°9



CALICATA N°10

### 3 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LOS PAVIMENTOS

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL LUGAR

##### 3.1.1 Introducción

Este capítulo corresponde a la Sub Etapa N°3.1, donde se analizan las características climatológicas del Aeropuerto Desierto de Atacama ubicado en Copiapó, y como estos afectan o influyen en el comportamiento de las estructuras de pavimento. El rango de influencia a estudiar, comprende un registro de 20 años a la fecha.

##### 3.1.1.1 Descripción específica (del área de movimiento)

La pista denominada 17-35, orientación norte-sur, de materialidad asfáltica, y según la información entregada por la AIP Chile, la resistencia de la pista es PCN 48 F/A/W/T.

Tabla 3.1: Características geométricas principales de la pista.

OACI	IATA	ORIENTACIÓN	LARGO	ANCHO	PENDIENTE	MATERIAL	PCN	RODAJES
SCAT	CPO	17/35	2,200.0	45.0	0.7%	Asfalto	48 F/A/W/T	3: B C D

##### 3.1.2 Alcance

El alcance del presente documento consiste en estudiar y analizar la influencia de las características climáticas del lugar de emplazamiento de este Aeropuerto en el comportamiento (o desempeño) de cada estructura constituyente del pavimento en el tiempo, valiéndose de la información y posterior procesamiento de datos, de las siguientes variables meteorológicas: Temperatura, Radiación Solar y Precipitaciones.

De este alcance se desprenden entonces las siguientes labores previas, tendientes a servir de insumo a la hora de realizar el ulterior estudio:

- Recolección de datos meteorológicos de la zona en estudio.
- Procesamiento de los datos recolectados; mediante la determinación de los estadísticos vinculados al propósito de este estudio (comportamiento/desempeño de los diversos tipos de pavimentos).
- Elaboración de tablas y gráficos ilustrativos de la evolución de las ya mencionadas variables meteorológicas.

##### 3.1.3 Antecedentes tenidos a la vista

Para el desarrollo del presente documento, se han tenido a la vista los antecedentes meteorológicos de la Estación Caldera, Ad. Desierto de Atacama, dispuestos por la sección de climatología de la DGAC.

##### 3.1.4 Meteorología

##### 3.1.4.1.1 *Características climáticas del lugar*

El objetivo en este apartado es, obtener los parámetros climáticos más significativos de la zona para posteriormente, poder evaluar la posible influencia sobre la degradación del pavimento y las operaciones aéreas.

Los parámetros que se obtendrán serán:

- i. Las temperaturas promedio mensuales (máxima, mínima y media) junto con la temperatura de referencia del Aeropuerto.
- ii. Radiación solar promedio mensual.
- iii. Precipitaciones medias mensuales

Para el cálculo de los parámetros antes mencionados, se tomaron los datos existentes entregados por la estación meteorológica “Desierto de Atacama”, de referencia geográfica Lat|Lon: 27°15'50"S|70°46'27"W (-27.263889|-70.774167), como se observa en la siguiente imagen

Figura 3.1: Ubicación de la Estación Meteorológica



Fuente: Google Earth

El clima promedio en el sector corresponde a que los veranos son caliente, áridos y mayormente nublados y los inviernos son largos, frescos, secos y mayormente despejados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 15 °C a 26 °C y rara vez baja a menos de 12 °C o sube a más de 27 °C.

#### 3.1.4.2 Datos recolectados para las variables Meteorológicas

Los datos recolectados obedecen a un periodo de observación de al menos 15 años (o el total de registros disponible para esta zona en particular). Las tablas que presentan datos marcados como "-" (guión simple) indican periodos en los que no se ha registrado precipitación alguna, por otra parte. Los datos con valor "0,0" corresponden a trazas de precipitación menor a 0,1mm en el período. Los datos marcados como " " (vacío) indican periodos en los que no se tiene información respecto a la variable medida, tanto para precipitación, temperatura, o radiación.

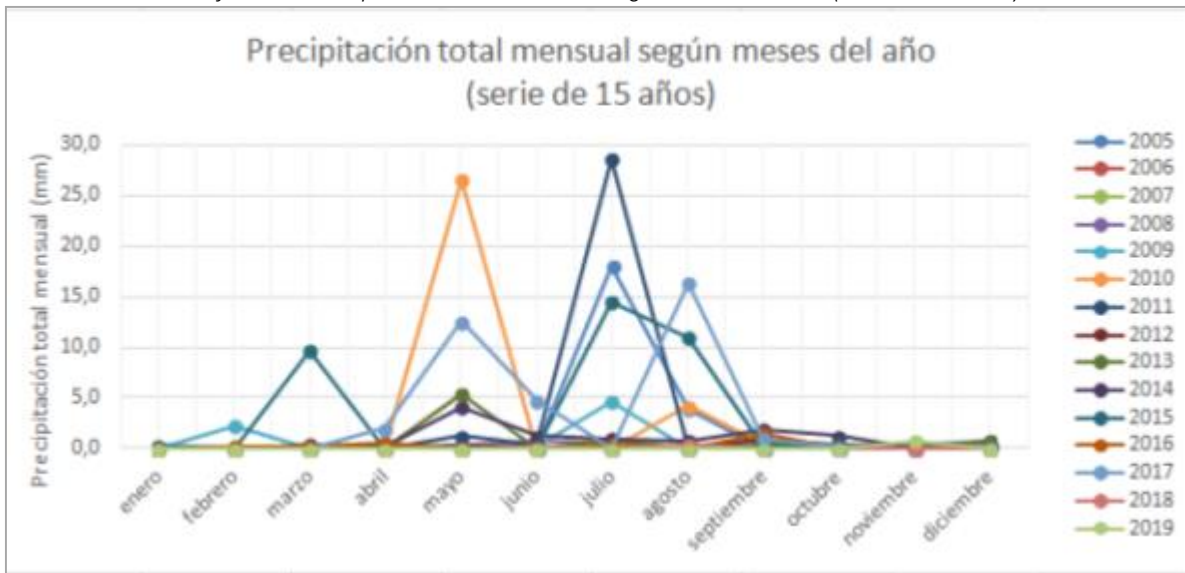
3.1.4.2.1 Precipitación

Tabla 3.2: Precipitación total mensual (2005-2019).

Estación: "Caldera, Ad. Desierto de Atacama", Caldera, Región de Atacama.												
Latitud: 27°15'50"S Longitud: 70°46'27"W Elevación: 204 metros												
Año / Mes	Precipitación total mensual del periodo 2005 - 2019											
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
2005		0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	18,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,2
2006	0,0	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	0,6
2007	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	0,4	0,2	0,0	0,0	-
2008	0,4	-	-	0,2	0,4	0,7	0,6	-	0,0	0,0	0,3	0,8
2009	-	2,3	-	0,0	0,2	0,2	4,6	-	0,0	0,0	-	0,0
2010	0,0	-	-	-	26,6	0,0	-	4,3	0,4	0,0	0,0	0,0
2011	0,0	-	-	-	1,2	0,4	28,5	0,0	0,9	-	-	-
2012	-	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	1,0	0,4	0,2	0,0
2013	-	0,0	0,0	0,0	5,4	-	1,0	0,0	0,4	0,4	0,2	0,8
2014	-	0,0	0,3	0,2	4,0	1,2	1,0	0,8	1,8	1,2	0,0	0,0
2015	0,2	0,0	9,6	0,0	-	0,0	14,4	11,0	0,2	0,4	0,0	0,0
2016	0,0	0,2	0,2	0,6	-	0,0	0,4	-	1,4	0,0	0,0	0,0
2017	0,0	0,0	0,0	2,0	12,6	4,8	-	16,4	1,0	0,2	0,0	0,2
2018	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
2019	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0
MEDIA	0,1	0,2	1,0	0,3	3,9	0,6	6,2	3,4	0,5	0,2	0,1	0,2

Fuente: DGAC.

Gráfico 3.1: Precipitación total mensual según meses del año (serie de 15 años)



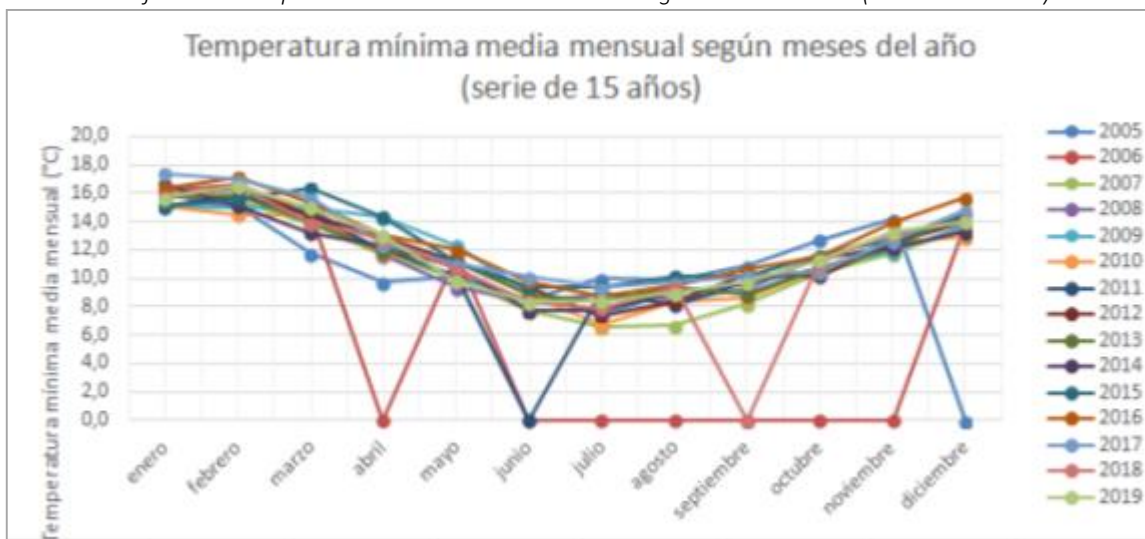
3.1.4.2.2 Temperatura

Tabla 3.3: Temperatura mínima media mensual (2005-2019).

Estación: "Caldera, Ad. Desierto de Atacama", Caldera; Región de Atacama.												
Latitud: 27°15'50"S Longitud: 70°46'27"W Elevación: 204 metros												
Año / Mes	Temperatura mínima media mensual periodo 2005 - 2019											
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
2005	15,0	15,1	11,8	9,7	10,1	8,5	10,0	9,9	10,9	12,7	14,2	
2006	16,2	16,6	14,6		11,6							13,8
2007	16,0	15,5	13,8	11,7	10,0	7,7	6,6	6,7	8,2	10,4	11,8	13,5
2008	16,0	15,0	15,0	11,6	9,4	8,4	8,9	8,5	9,3	11,5	13,0	14,1
2009	15,2	15,0	14,9	14,3	12,3	9,0	7,4	9,1	9,0	10,8	11,9	13,7
2010	15,1	14,5	14,4	11,7	11,1	8,9	6,7	8,4	8,6	10,7	12,6	12,9
2011	15,1	15,8	14,4	12,0	10,2		9,0	8,1	9,8	10,7	12,4	14,5
2012	15,7	16,3	14,5	12,9	11,2	9,4	7,4	8,4	10,3	10,1	12,5	14,0
2013	15,7	15,9	13,9	11,9	11,2	8,9	8,3	9,4	8,9	10,6	12,2	14,6
2014	16,6	15,1	13,2	12,3	10,8	7,7	7,7	9,0	9,6	11,4	12,2	13,3
2015	15,1	15,6	16,3	14,3	11,1	9,4	9,4	10,1	10,2	11,6	12,7	14,4
2016	16,4	17,1	15,4	13,0	12,0	9,8	8,7	9,5	10,6	11,5	14,0	15,7
2017	17,4	17,0	15,7	12,4	11,0	10,1	9,4	9,7	10,2	10,5	12,7	14,8
2018	15,8	16,5	13,9	12,8	10,6	8,4	7,9	9,4	-	11,1	13,2	14,1
2019	15,7	16,5	15,0	13,0	9,8	8,3	8,4	9,0	9,7	11,3	13,3	14,0
MEDIA	15,8	15,8	14,5	12,4	10,8	8,8	8,3	8,9	9,6	11,1	12,8	14,1

Fuente: DGAC.

Gráfico 3.2: Temperatura mínima media mensual según meses del año (serie de 15 años).



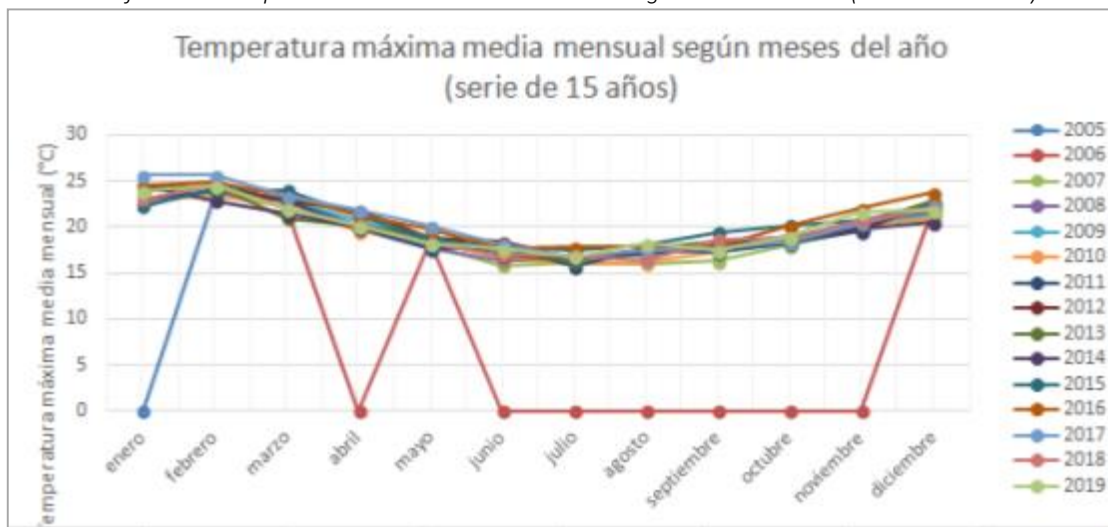
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4: Temperatura máxima media mensual (2005-2019).

Estación: "Caldera, Ad. Desierto de Atacama", Caldera, Región de Atacama.												
Latitud: 27°15'50"S Longitud: 70°46'27"W Elevación: 204 metros												
Año / Mes	Temperatura máxima media mensual periodo 2005 - 2019											
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
2005	-	23,4	23,2	20,2	18,4	17,4	16,8	17,1	17,6	18,6	19,7	21,9
2006	23,9	24,5	22	18,4	18,4	17,4	16,8	17,1	17,6	18,6	19,7	21,9
2007	24,5	24,2	22,2	20,2	18,1	15,8	16,2	16,0	16,3	18,0	19,9	21,3
2008	24,5	24,3	23,1	19,8	17,7	16,4	16,4	17,5	17,5	18,3	20,7	22,4
2009	22,7	23,7	23,1	20,7	18,7	17,1	16,8	17,0	18,0	18,1	20,2	21,4
2010	23,0	23,4	22,3	19,5	18,5	16,7	16,0	16,2	17,3	18,6	20,1	21,0
2011	23,1	24,0	22,9	19,9	17,6	17,9	15,7	17,5	17,3	18,3	19,6	22,8
2012	24,1	24,6	22,9	21,9	18,9	18,4	16,5	17,4	17,6	18,4	20,0	22,4
2013	24,0	24,6	21,0	20,1	19,0	17,0	16,4	17,6	18,5	18,2	20,3	22,8
2014	24,6	22,9	21,4	20,0	18,5	16,9	16,7	17,2	18,1	19,0	19,8	20,6
2015	22,3	24,1	24,0	21,2	18,7	17,8	17,4	18,0	19,4	20,2	20,8	21,7
2016	24,5	25,0	23,3	21,3	19,7	17,6	17,9	17,9	17,9	20,2	22,0	23,7
2017	25,6	25,7	23,3	21,8	20,1	18,1	16,8	17,5	17,7	18,4	20,4	22,3
2018	23,1	24,5	22,0	20,2	18,3	16,9	16,9	16,4	18,7	18,9	20,8	21,9
2019	23,9	24,6	22,1	20,2	18,2	17,7	16,8	18,3	17,5	19,0	21,6	21,9
MEDIA	23,8	24,2	22,6	20,5	18,6	17,3	16,7	17,3	17,8	18,7	20,4	22,0

Fuente: DGAC.

Gráfico 3.3: Temperatura máxima media mensual según meses del año (serie de 15 años).



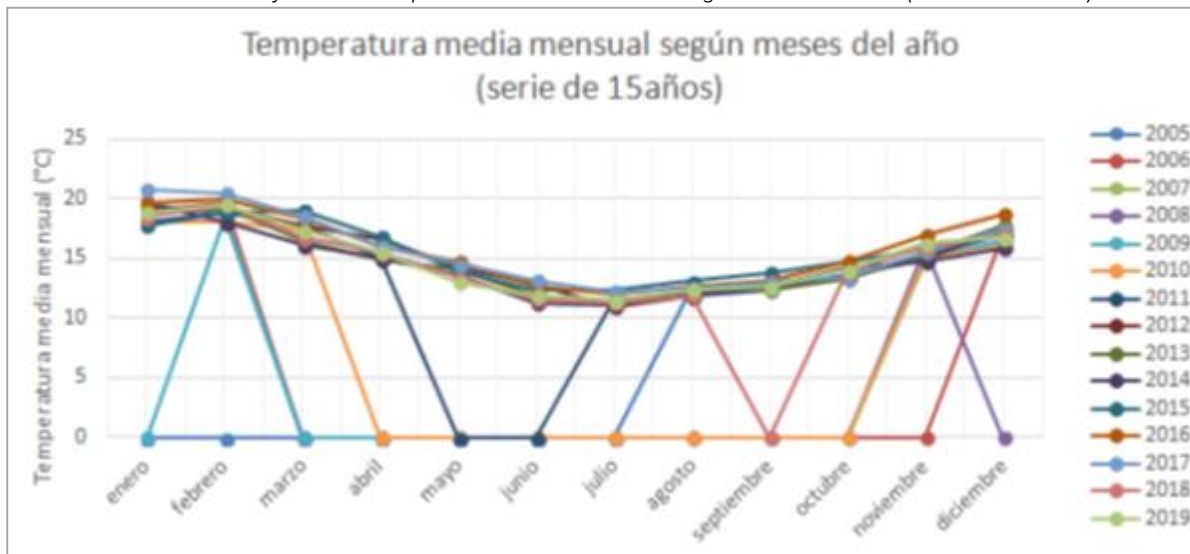
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5: Temperatura media mensual (2005-2019)

Estación: "Caldera, Ad. Desierto de Atacama", Caldera: Región de Atacama.												
Latitud: 27°15'50"S Longitud: 70°46'27"W Elevación: 204 metros												
Año / Mes	Temperatura media mensual periodo 2005 - 2019											
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
2005								12,5	12,7	13,7	15,2	17,0
2006	19,0	19,6									14,8	16,9
2007	19,3	19									15,9	16,2
2008	19,5	18,7									15,0	16,4
2009	18	18,0	17,4								15,1	16
2010	18,1	18,9	17,8	15,0			11,5	11,8	12,4	13,6	14,9	17,6
2011	19,0	19,3	17,7	16,6	14,2	12,8	10,9	11,8	13,0	13,3	15,3	17,1
2012	18,9	19,3	16,4	14,9	14,1	11,9	11,3	12,4	12,4	13,3	15,3	17,8
2013	19,6	18,0	16,1	15,0	13,7	11,2	11,1	12,0	12,7	14,2	14,8	15,9
2014	17,8	18,9	19,0	16,8	14,0	12,4	12,3	13,1	13,8	14,8	15,8	17,0
2015	19,6	19,9	18,4	16,0	14,8	12,7	12,1	12,6	13,2	14,8	16,9	18,7
2016	20,7	20,4	18,5	16,0	14,5	13,2	12,2	12,5	13,0	13,4	15,5	17,5
2017	18,5	19,5	16,8	15,5	13,4	11,6	11,3	11,9		13,9	16,0	17,0
2018	18,9	19,5	17,4	15,6	13,0	11,9	11,5	12,4	12,6	14,1	16,3	16,8
MEDIA	19,0	19,1	17,6	15,7	14,0	12,2	11,6	12,3	12,9	13,9	15,5	17,0

Fuente: DGAC

Gráfico 3.4: Temperatura media mensual según meses del año (serie de 15 años)



Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.4.2.3 Radiación Solar

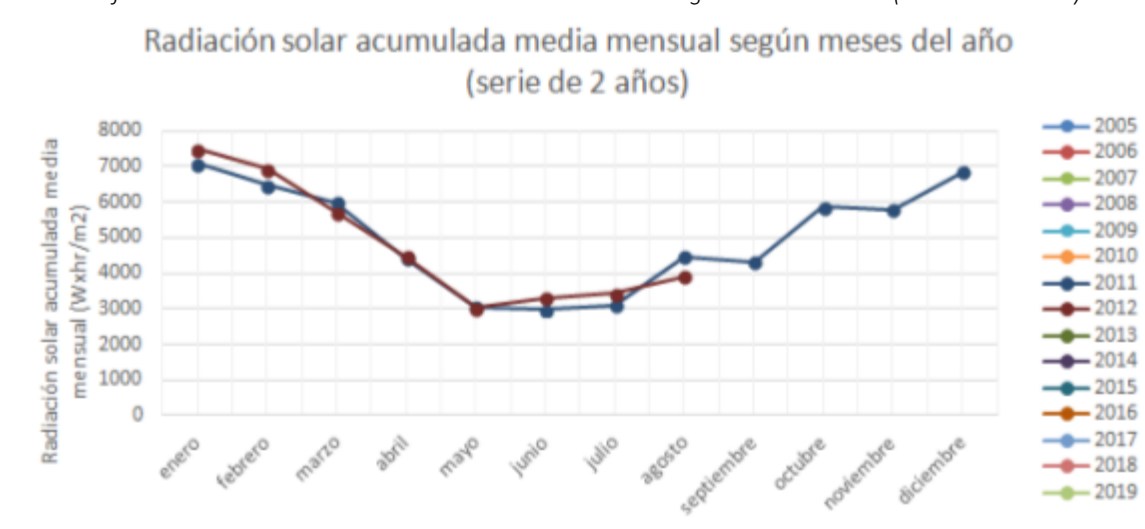
La información disponible por DGAC de este parámetro se encuentra entre los años 2011 y 2012, dato inferior a lo obtenido en otros aeropuertos. Para mantener estándar de tablas, se mantiene el período 2005 al 2019, sin embargo, a variar por los años 2011 y 2012 los valores son nulos.

Tabla 3.6: Radiación solar global acumulada media mensual (2005-2019).

Estación: "Caldera, Ad. Desierto de Atacama", Caldera; Región de Atacama.												
Latitud: 27°15'50"S Longitud: 70°46'27"W Elevación: 204 metros												
Año / Mes	Radiación solar global acumulada media mensual periodo 2005 - 2019 (Watt-Hora/m <sup>2</sup> )											
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
2011	7085,8	6473,4	5972,4	4420,5	3035,3	2972,3	3115	4472,3	4306,7	5858,4	5799,9	6844,7
2012	7510,7	6949,2	5709,9	4472,2	3017,8	3300,9	3422,9	3916,6				
2013												
2014												
2015												
2016												
2017												
2018												
2019												
MEDIA	7298,3	6711,3	5841,2	4446,4	3026,6	3136,6	3269,0	4194,5	4306,7	5858,4	5799,9	6844,7

Fuente: DGAC.

Gráfico 3.5: Radiación solar acumulada media mensual según meses del año (serie de 2 años\*).



Fuente: Elaboración propia.



### 3.1.4.3 Análisis Multidimensional de los datos recolectados

A continuación, se abordará el desarrollo estadístico sobre los datos recolectados y presentados (a modo de resumen) en el capítulo anterior.

Los estadísticos considerados para cada una de las tres variables de medición son:

- Variable Precipitaciones
  - Valor mínimo, máximo, media y desviación estándar de cada serie anual.
  - Valor mínimo, máximo, media y desviación estándar para cada mes, de la serie pluri-anual completa.
- Variable Temperatura
  - Valor mínimo, máximo, media y desviación estándar de cada serie anual.
  - Valor mínimo, máximo, media y desviación estándar para cada mes, de la serie pluri-anual completa.
- Variable Radiación Solar
  - Valor mínimo, máximo, media y desviación estándar de cada serie anual.
  - Valor mínimo, máximo, media y desviación estándar para cada mes, de la serie pluri-anual completa.

#### 3.1.4.3.1 *Análisis respecto a la Precipitación*

Del análisis de los datos anteriormente expuestos, en conjunto con lo presentado en la Tabla 3.7, se concluye que las precipitaciones tienen un comportamiento aleatorio año tras año, vale decir, entre cada año existe una gran variabilidad de la precipitación registrada, estando en general contenida en el primer semestre de cada año.

A mayor detalle, por medio de la segunda tabla, se observa que estos tienen ocurrencia en los meses fríos, entre mayo y agosto de cada año.

Tabla 3.7: Valores estadísticos de cada serie anual (precipitación total mensual).

ORIGEN DE DATOS: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DEL PERIODO 2000 - 2019 (MM)				
AÑO	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST.
2000	-	-	-	-
2001	-	-	-	-
2002	-	-	-	-
2003	-	-	-	-
2004	-	-	-	-
2005	0,00	18,00	2,04	5,42
2006	0,00	0,60	0,20	0,35
2007	0,00	0,40	0,09	0,15
2008	0,00	0,80	0,38	0,29
2009	0,00	4,60	0,91	1,68
2010	0,00	26,60	3,91	9,29
2011	0,00	28,50	5,17	11,44
2012	0,00	1,00	0,18	0,30
2013	0,00	5,40	0,82	1,65
2014	0,00	4,00	0,95	1,18
2015	0,00	14,40	3,25	5,52
2016	0,00	1,40	0,28	0,44
2017	0,00	16,40	3,38	5,74
2018	0,00	0,40	0,05	0,12
2019	0,00	0,80	0,07	0,23

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 3.8: Valores estadísticos mensual de la serie pluri-anual (precipitación total mensual).

ORIGEN DE DATOS: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DEL PERIODO 2000 - 2019 (MM)				
MES	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST.
ENE	0,00	0,40	0,08	0,14
FEB	0,00	2,30	0,23	0,69
MAR	0,00	9,60	1,02	3,02
ABR	0,00	2,00	0,27	0,57
MAY	0,00	26,60	3,89	7,73
JUN	0,00	4,80	0,64	1,36
JUL	0,00	28,50	6,23	9,70
AGO	0,00	16,40	3,38	5,47
SEP	0,00	1,80	0,52	0,60
OCT	0,00	1,20	0,20	0,35
NOV	0,00	0,80	0,13	0,24
DIC	0,00	0,80	0,20	0,32

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.4.3.2 Análisis respecto a la Temperatura

De la Tabla 3.9, se evidencia que la temperatura mínima ha tenido una leve tendencia al alza. Esto queda de manifiesto al revisar los datos de los valores mínimos de esta variable (mínimos de los 12 meses, para cada serie anual), junto con el valor de la media de los 12 meses del año de cada serie. En términos de la dispersión, esta se mantiene relativamente constante.

A mayor detalle, por medio de la Tabla 3.10, se evidencia que la mayor desviación se concentra en los meses del primer semestre de cada año (de enero a junio), lo que explicaría la leve alza del valor medio de las temperaturas observado.

Tabla 3.9: Valores estadísticos de cada serie anual (temperatura mínima media mensual).

ORIGEN DE DATOS: TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL DEL PERIODO 2000 - 2019 (°C)				
AÑO	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST.
2000	-	-	-	-
2001	-	-	-	-
2002	-	-	-	-
2003	-	-	-	-
2004	-	-	-	-
2005	8,50	15,10	11,63	2,31
2006	11,60	16,60	14,56	2,01
2007	6,60	16,00	10,99	3,28
2008	8,40	16,00	11,73	2,82
2009	7,40	15,20	11,88	2,78
2010	6,70	15,10	11,30	2,73
2011	8,10	15,80	12,00	2,65
2012	7,40	16,30	11,89	2,88
2013	8,30	15,90	11,79	2,71
2014	7,70	16,60	11,58	2,79
2015	9,40	16,30	12,52	2,54
2016	8,70	17,10	12,81	2,89
2017	9,40	17,40	12,58	2,93
2018	7,90	16,50	12,15	2,90
2019	8,30	16,50	12,00	2,95

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 3.10: Valores estadísticos mensual de la serie pluri-anual (temperatura mínima media mensual).

ORIGEN DE DATOS: TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL DEL PERIODO 2000 - 2019 (°C)				
MES	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST.
ENE	15,00	17,40	15,80	0,67
FEB	14,50	17,10	15,83	0,81
MAR	11,80	16,30	14,45	1,08
ABR	9,70	14,30	12,40	1,17
MAY	9,40	12,30	10,83	0,82
JUN	7,70	10,10	8,81	0,74
JUL	6,60	10,00	8,27	1,03
AGO	6,70	10,10	8,94	0,88
SEP	8,20	10,90	9,64	0,81
OCT	10,10	12,70	11,06	0,67
NOV	11,80	14,20	12,76	0,72
DIC	12,90	15,70	14,10	0,69

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 3.11, se evidencia que la temperatura máxima se ha mantenido relativamente constante a lo largo del horizonte de estudio. La dispersión resulta ser más elevada que en el análisis de las temperaturas mínimas, siendo todas ellas constante año tras año (respecto a la dispersión de los valores mensuales para cada serie anual).

Tabla 3.11: Valores estadísticos de cada serie anual (temperatura máxima media mensual).

ORIGEN DE DATOS: TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL DEL PERIODO 2000 - 2019 (°C)				
AÑO	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST.
2000	-	-	-	-
2001	-	-	-	-
2002	-	-	-	-
2003	-	-	-	-
2004	-	-	-	-
2005	16,80	23,40	19,48	2,41
2006	18,40	24,50	22,14	2,38
2007	15,80	24,50	19,39	3,15
2008	16,40	24,50	19,88	3,03
2009	16,80	23,70	19,79	2,51
2010	16,00	23,40	19,38	2,62
2011	15,70	24,00	19,72	2,80
2012	16,50	24,60	20,26	2,80
2013	16,40	24,60	19,96	2,70
2014	16,70	24,60	19,64	2,44
2015	17,40	24,10	20,47	2,30
2016	17,60	25,00	20,92	2,77
2017	16,80	25,70	20,64	3,11
2018	16,40	24,50	19,88	2,63
2019	16,80	24,60	20,15	2,62

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.12: Valores estadísticos mensual de la serie pluri-anual (temperatura máxima media mensual).

ORIGEN DE DATOS: TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL DEL PERIODO 2000 - 2019 (°C)				
MES	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST.
ENE	22,30	25,60	23,84	0,90
FEB	22,90	25,70	24,23	0,70
MAR	21,00	24,00	22,59	0,81
ABR	19,50	21,90	20,50	0,76
MAY	17,60	20,10	18,59	0,66
JUN	15,80	18,40	17,26	0,71
JUL	15,70	17,90	16,66	0,55

ORIGEN DE DATOS: TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL DEL PERIODO 2000 - 2019 (°C)				
MES	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST.
AGO	16,00	18,30	17,26	0,67
SEP	16,30	19,40	17,81	0,73
OCT	18,00	20,20	18,73	0,70
NOV	19,60	22,00	20,42	0,70
DIC	20,60	23,70	22,00	0,78

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 3.13, se evidencia que la temperatura media mensual se ha mantenido relativamente constante a lo largo del horizonte de estudio. La dispersión resulta ser del orden de las dispersiones de los valores máximos y mínimos presentados anteriormente.

A mayor abundamiento, y en apoyo con la Tabla 3.14, se aprecia que la mayor dispersión mensual (de toda la serie) ocurre para los meses fríos de abril a septiembre.

Tabla 3.13: Valores estadísticos de cada serie anual (temperatura media mensual).

ORIGEN DE DATOS: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DEL PERIODO 2000 - 2019 (°C)				
AÑO	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST.
2000	-	-	-	-
2001	-	-	-	-
2002	-	-	-	-
2003	-	-	-	-
2004	-	-	-	-
2005	12,50	17,00	14,22	1,89
2006	16,90	19,60	18,50	1,42
2007	14,80	19,30	17,33	2,19
2008	15,90	19,50	18,03	1,89
2009	15,00	18,30	16,57	1,66
2010	15,10	18,00	16,90	1,30
2011	11,50	18,90	15,16	2,80
2012	10,90	19,30	15,08	2,83
2013	11,30	19,30	14,83	2,76
2014	11,10	19,60	14,53	2,62
2015	12,30	19,00	15,48	2,42
2016	12,10	19,90	15,81	2,86
2017	12,20	20,70	15,62	3,03
2018	11,30	19,50	15,04	2,82
2019	11,50	19,50	15,00	2,79

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.14: Valores estadísticos mensual de la serie pluri-anual (temperatura media mensual).

ORIGEN DE DATOS: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DEL PERIODO 2000 - 2019 (°C)				
MES	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST.
ENE	17,80	20,70	18,99	0,79
FEB	18,00	20,40	19,09	0,70
MAR	16,10	19,00	17,55	0,93
ABR	14,90	16,80	15,71	0,70
MAY	13,00	14,80	13,96	0,58
JUN	11,20	13,20	12,21	0,67
JUL	10,90	12,30	11,58	0,50
AGO	11,80	13,10	12,30	0,42
SEP	12,40	13,80	12,87	0,44
OCT	13,30	14,80	13,91	0,56
NOV	14,80	16,90	15,49	0,62
DIC	15,90	18,70	16,99	0,75

Fuente: Elaboración propia.



### 3.1.5 Análisis respecto a la Radiación Solar

Los datos de esta variable tienen existencia entre el año 2011 y 2012. Los valores medios se aprecian constantes a lo largo de estos años, mientras que la alta desviación se explica por la diferencia entre los meses cálidos de los fríos; en donde la radiación solar resulta ser casi 1/2 de aquella ocurrida en los meses cálidos.

A mayor abundamiento, y en apoyo de la tabla 3.16, se aprecia que desde mayo a agosto (ambos meses inclusive), la radiación solar media decrece considerablemente respecto del resto de los meses calendarios.

Tabla 3.15: Valores estadísticos de cada serie anual (radiación solar acumulada media mensual).

ORIGEN DE DATOS: RADIACIÓN SOLAR GLOBAL ACUMULADA MEDIA MENSUAL DEL PERIODO 2000 - 2019 (°WATT-HORA/M2)(°C)				
AÑO	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST.
2000	-	-	-	-
2001	-	-	-	-
2002	-	-	-	-
2003	-	-	-	-
2004	-	-	-	-
2005	0,00	0,00	-	-
2006	0,00	0,00	-	-
2007	0,00	0,00	-	-
2008	0,00	0,00	-	-
2009	0,00	0,00	-	-
2010	0,00	0,00	-	-
2011	2972,30	7085,80	5029,73	1503,20
2012	3017,80	7510,70	4787,53	1732,11
2013	0,00	0,00	-	-
2014	0,00	0,00	-	-
2015	0,00	0,00	-	-
2016	0,00	0,00	-	-
2017	0,00	0,00	-	-
2018	0,00	0,00	-	-
2019	0,00	0,00	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.16: Valores estadísticos mensual de la serie pluri-anual (radiación solar acumulada media mensual).

ORIGEN DE DATOS: RADIACIÓN SOLAR GLOBAL ACUMULADA MEDIA MENSUAL DEL PERIODO 2000 - 2019 (°WATT-HORA/M2)(°C)				
MES	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST.
ENE	7085,80	7510,70	7298,25	300,45
FEB	6473,40	6949,20	6711,30	336,44
MAR	5709,90	5972,40	5841,15	185,62
ABR	4420,50	4472,20	4446,35	36,56
MAY	3017,80	3035,30	3026,55	12,37
JUN	2972,30	3300,90	3136,60	232,36
JUL	3115,00	3422,90	3268,95	217,72
AGO	3916,60	4472,30	4194,45	392,94
SEP	4306,70	4306,70	4306,70	-
OCT	5858,40	5858,40	5858,40	-
NOV	5799,90	5799,90	5799,90	-
DIC	6844,70	6844,70	6844,70	-

Fuente: Elaboración propia.



### 3.1.6 Influencia De Las Variables Meteorológicas En Los Pavimentos

En el presente capítulo se presenta el estudio de los datos anteriormente recolectados y analizados multidimensionalmente (mediante la generación de estadísticos o indicadores), estudio que tiene como objetivo la determinación de la influencia sobre las características propias de los distintos tipos de pavimento, frente a las condiciones climatológicas propias de la zona en estudio.

En general, los pavimentos asfálticos son los que se ven mayormente afectados a causa del clima, a diferencia del hormigón, que se comporta más apropiadamente frente a condiciones climáticas extremas, como por ejemplo las precipitaciones.

Considerando la ubicación del aeropuerto Desierto de Atacama de Copiapó, con un clima de caluroso a templado, se estima que este puede ser favorable para los pavimentos del aeropuerto, en gran parte por la baja pluviosidad y las variaciones no extremas de temperaturas a lo largo del año.

Por tanto, se esperará que los deterioros que presente el pavimento no sean consecuencia de este parámetro, o bien sea una combinación del desgaste por carga o edad y clima en forma anexa.

## 3.2 PROYECCIÓN DE TRÁNSITO AÉREO

### 3.2.1 Introducción

#### 3.2.1.1 Generalidades

Este ítem corresponde a la Sub Etapa 3.2, donde se requiere estimar y proyectar para los próximos veinte años, período 2021 – 2041, los pasajeros y la carga, luego las operaciones y los tipos de aeronaves que operan en las distintas actividades que para los efectos de este proyecto sean relevantes. Esta proyección se realiza en marzo de 2020 para los próximos veinte años, considerando data disponible desde el año 1984 en adelante.

El aeropuerto Desierto de Atacama ha experimentado un crecimiento sostenido en su flujo de pasajeros en el tiempo y se hace necesario estudiar los factores que han explicado su evolución para poder elaborar un modelo que permita proyectar con cierta confianza la demanda futura, en términos de pasajeros y operaciones comerciales y otros tipos de operaciones (militares, cargas u otras relevantes) para los próximos 20 años.

#### 3.2.1.2 Resumen ejecutivo

##### 3.2.1.2.1 *Proyección De Pasajeros*

Luego de estudiar varios tipos de modelos econométricos de proyección de demanda, incluyendo en éstos variables que describen actividad económica, precios (tarifas de las compañías aéreas) y otras variables explicativas analizadas, se seleccionó un modelo econométrico basado en las variables PIB (Producto Interno Bruto) regional y tarifas aéreas como variables explicativas para proyectar la demanda en términos de pasajeros.

- Modelación y Efecto COVID

Considerando que la actividad en 2020, medida tanto en términos de pasajeros transportados como en operaciones estuvo drásticamente afectada por la pandemia del COVID 19, donde la cantidad de pasajeros cayó en este aeropuerto cerca de un 64%, pasó de 616.458 pasajeros transportados en 2019 a 220.290 pasajeros en 2020, la modelación se realiza excluyendo el año 2020 de la muestra, por considerar que este año no es representativo de la muestra y su inclusión en la modelación distorsiona la capacidad predictiva del modelo de largo plazo.



De esta forma, el modelo considera la actividad histórica de los últimos veinte años, excluyendo el año 2020 y establece un modelo de largo plazo capaz de proyectar sin considerar el efecto COVID. Así, la modelación mantiene una capacidad de proyectar el largo plazo en condiciones normales o esperadas

Para la proyección de corto plazo, años 2021 al 2024, se ha utilizado el juicio de expertos<sup>6</sup>, es decir, se considera la opinión de los principales operadores y expertos o participantes de la industria que proyectan la actividad futura de corto plazo y que el modelo desarrollado no es capaz de proyectar.

Así, para el período 2021 al 2024, se considera una recuperación de la actividad basada en el juicio de expertos, que proyecta para esos años una recuperación a tasas mayores a las históricas para recuperar el nivel de pasajeros de 2019 en 2024. A partir del año 2024, cuando según los expertos se normalizaría la actividad y vuelven los niveles pre-pandemia de 2019, el modelo desarrollado proyecta la actividad bajo condiciones normales. Esto es, excluyendo de la modelación, datos anormales o extraordinarios que escapan de la naturaleza de la actividad (outliers estadísticos).

Así, de acuerdo con las proyecciones elaboradas, se estima que al año 2041, en un escenario base, el Aeropuerto de Atacama debiera acoger una demanda aproximada a los 1,6 millones de pasajeros anuales, llegados más salidos, considerando pasajeros nacionales e internacionales.

Este resultado es reflejo de un modelo multivariado, con elasticidades que son consistentes con la naturaleza de sus variables. Es decir, se esperaría que la elasticidad ingreso fuera positiva y la elasticidad precio, medida en forma de tarifas, fuera negativa, lo que se verifica en el modelo seleccionado. Para el caso de la elasticidad ingreso, ésta se estima del orden de 2,3 y para el caso de las tarifas, una elasticidad compuesta de -0,4.

Como resultado de la modelación, para efectos de las proyecciones, se establecen tres escenarios:

a) **Escenario Base:**

Este escenario considera a la economía chilena, el PIB, creciendo a partir de 2022 al 3,0% anual de acuerdo con las estimaciones del Banco Central, para tender a un crecimiento en el largo plazo, al año 2041, en torno al 2,3% anual. En todo caso, cabe recordar que dada la forma como se ha modelado la demanda, la variación del PIB nacional de los años 2021 al 2024 no afecta la proyección de pasajeros, ya que para esos años la demanda viene dada según juicio de expertos.

Para el caso de las tarifas, se consideró en el escenario base que estas aumentan un 90% del aumento anual del IPC, es decir, dado que se supuso que el IPC crecería a una tasa anual de 3% (centro del rango meta del Banco Central), las tarifas aéreas lo harían al 2,7% anual (lo que implica una leve caída anual en términos reales).

Adicionalmente, el escenario base considera que el nivel de pasajeros del año 2019 se alcanzaría nuevamente en el año 2024.

b) **Escenario Pesimista:**

Este escenario considera la economía chilena, PIB, creciendo a partir de 2022 al 2,5% anual de acuerdo con las estimaciones del Banco Central, para tender a un crecimiento en el largo plazo, al año 2041, en torno al 1,9% anual. En todo caso, cabe recordar que dada la forma como se ha modelado la demanda, la variación del PIB nacional de los años 2021 al 2024 no afecta la proyección de pasajeros, ya que para esos años la demanda viene dada por juicio de expertos.

Para el caso de las tarifas, se consideró en el escenario pesimista que estas aumentan al 100% del aumento anual del IPC, es decir, dado que se supuso que el IPC crecería a una tasa anual de 3% (centro del rango meta del Banco Central), las tarifas aéreas lo harían a la misma tasa, 3,0% anual (lo que implica que las tarifas se mantienen en términos reales).

---

<sup>6</sup> Para estos efectos, se ha considerado la opinión de agencias internacionales y expertos: IATA (Outlook for Air Transport and the Airline Industry, november 2020); IATA (Air Passenger Market Analysis, december 2020); Rob Morris, director global de consultoría de Ascend by Cirium, firma de inteligencia de mercado y data de la aviación en Hosteltour, septiembre 2020, entre otros.



Adicionalmente, el escenario pesimista considera que el nivel de pasajeros del año 2019 se recupera nuevamente en el año 2025 (un año después de lo proyectado por los expertos)

c) **Escenario Optimista:**

Este escenario considera la economía chilena, PIB, creciendo a partir de 2022 al 3,5% anual de acuerdo con las estimaciones del Banco Central, para tender a un crecimiento en el largo plazo, al año 2041, en torno al 2,7% anual. En todo caso, cabe recordar que dada la forma como se ha modelado la demanda, la variación del PIB nacional de los años 2021 al 2024 no afecta la proyección de pasajeros, ya que para esos años la demanda viene dada por juicio de expertos.

Para el caso de las tarifas, se consideró en el escenario optimista que estas aumentan al 80% del aumento anual del IPC, es decir, dado que se supuso que el IPC crecería a una tasa anual de 3% (centro del rango meta del Banco Central), las tarifas aéreas lo harían en 2,4% anual (lo que implica una mayor caída en términos reales que en el escenario base).

Adicionalmente, el escenario optimista considera que el nivel de pasajeros del año 2019 se recupera nuevamente en el año 2023 (un año antes de lo proyectado por los expertos). A continuación, se observan las proyecciones de pasajeros para el período 2021 – 2041 para los tres escenarios.

*Tabla 3.17: Proyección Pasajeros Aeropuerto Desierto de Atacama*

Año	Pasajeros según escenario			Crecimiento según escenario		
	Base	Pesimista	Optimista	Base	Pesimista	Optimista
2019	616.458	616.458	616.458			
2020	220.290	220.290	220.290	-64,3%	-64,3%	-64,3%
2021	353.457	345.606	370.453	60,5%	56,9%	68,2%
2022	473.541	456.393	511.587	34,0%	32,1%	38,1%
2023	560.921	536.208	616.458	18,5%	17,5%	20,5%
2024	616.458	586.764	660.215	9,9%	9,4%	7,1%
2025	655.470	616.458	706.870	6,3%	5,1%	7,1%
2026	696.420	650.451	756.041	6,2%	5,5%	7,0%
2027	739.383	685.969	807.830	6,2%	5,5%	6,9%
2028	784.915	723.069	862.857	6,2%	5,4%	6,8%
2029	833.113	762.219	921.801	6,1%	5,4%	6,8%
2030	883.192	802.684	982.777	6,0%	5,3%	6,6%
2031	935.665	844.912	1.048.050	5,9%	5,3%	6,6%
2032	991.187	889.494	1.116.072	5,9%	5,3%	6,5%
2033	1.049.337	935.468	1.188.176	5,9%	5,2%	6,5%
2034	1.110.219	983.410	1.264.579	5,8%	5,1%	6,4%
2035	1.173.938	1.033.389	1.344.822	5,7%	5,1%	6,3%
2036	1.241.937	1.086.073	1.429.843	5,8%	5,1%	6,3%
2037	1.312.407	1.140.382	1.518.284	5,7%	5,0%	6,2%
2038	1.385.393	1.196.960	1.611.835	5,6%	5,0%	6,2%
2039	1.462.415	1.255.884	1.709.119	5,6%	4,9%	6,0%
2040	1.542.914	1.316.541	1.812.776	5,5%	4,8%	6,1%
2041	1.627.822	1.380.395	1.920.538	5,5%	4,9%	5,9%

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Total y Promedio consideran periodo 2022-2041*

### 3.2.2 Proyección de Flota Comercial y Operaciones

Considerando la evolución de la industria y el mercado aeronáutico, la opinión de los expertos y el análisis en detalle de bitácoras de los últimos años se está en condiciones de proyectar la flota comercial que operará en el mercado nacional y en el Aeropuerto Desierto de Atacama, en particular, según se explica detalladamente en el capítulo de Operaciones.

Así, la flota comercial mayor en Atacama tenderá a concentrarse en aviones del tipo A321 y A320, dando paso a un aumento del tamaño del avión medio utilizado actualmente y disminuyendo la participación relativa de los aviones del tipo A319, lo que se traducirá en el siguiente detalle de operaciones comerciales mayores de la siguiente tabla.



Tabla 3.18: Proyección de operaciones según aeronaves comerciales.

Año	B732-733	B462	A319	A320-A20N	A321
2019	48	78	1.194	1.589	1.428
2020	20	32	489	650	584
2021	29	48	730	971	873
2022	37	60	914	1.216	1.093
2023	41	66	1.017	1.353	1.216
2024	42	69	1.053	1.402	1.260
2025	40	65	1.022	1.555	1.359
2026	38	61	982	1.720	1.465
2027	35	57	935	1.896	1.577
2028	32	51	879	2.087	1.697
2029	28	45	814	2.293	1.825
2030	23	38	739	2.512	1.960
2031	18	30	653	2.747	2.102
2032	13	21	555	2.998	2.254
2033	7	11	446	3.267	2.415
2034	0	0	323	3.554	2.585
2035	0	0	291	3.583	2.905
2036	0	0	254	3.608	3.252
2037	0	0	213	3.623	3.623
2038	0	0	167	3.628	4.018
2039	0	0	117	3.624	4.443
2040	0	0	61	3.611	4.896
2041	0	0	0	3.589	5.383
<b>Total</b>	<b>354</b>	<b>575</b>	<b>11.434</b>	<b>53.868</b>	<b>51.329</b>
<b>Promedio</b>	<b>18</b>	<b>29</b>	<b>572</b>	<b>2.693</b>	<b>2.566</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Total y Promedio consideran periodo 2022-2041

Una vez descritas las operaciones comerciales proyectadas para cada año, se proyectan las operaciones aéreas de otras actividades.

De esta manera, se consideran los siguientes criterios generales según clasificación de actividad:

- **Actividad Comercial de Pasajeros;** se realizan proyecciones de operaciones en base a los antecedentes de proyección en dos distintos planos o variables; demanda de pasajeros y proyecciones de flota.
- **Actividad de Carga;** se realizan proyecciones en base al desarrollo de actividades comerciales y productivas específicas que expliquen las operaciones observadas. En el caso de Atacama, no se observan operaciones específicas de carga relevantes en términos de cantidad. De acuerdo con las bitácoras analizadas, no se registran operaciones clasificadas en actividad T (operaciones de carga). Todo el traslado de carga se da en la capacidad disponible de la aviación comercial de pasajeros.

Sin embargo, para efectos de la proyección de esta actividad y con el fin de adoptar un criterio conservador en las proyecciones y no excluir potenciales operaciones de carga a futuro, se considera a partir del año 2024 el promedio histórico de esta actividad para los últimos 11 años, período 2009 – 2020, proyectado al año 2041 de acuerdo con el crecimiento de la actividad comercial que es el principal motor del crecimiento en este aeropuerto.

- **Actividad Militar;** la proyección de esta actividad obedece a decisiones políticas y estrategias territoriales informadas que pueden hacer variar la actividad en un plano distinto de las variaciones vegetativas o de otra naturaleza. En el caso de Atacama, no se observan operaciones militares en la bitácora analizada.

Sin embargo, el hecho de que no se registren las operaciones militares en las bitácoras corresponde a una decisión estratégica más que operativa. Por este motivo, con el fin de no excluir las operaciones militares de la proyección, y dada la falta de información que permita proyectar de manera consistente esta actividad, se establece como



criterio incluir anualmente en las proyecciones las operaciones militares promedio-históricas, registradas en el período 2009 – 2014

- **Otras actividades;** en general se proyectan asociadas al desarrollo de la actividad aeronáutica regional, asumiendo que el desarrollo de la industria en un aeródromo conforma una oferta de apoyo de servicios a la actividad y provee una base de facilidades para el desarrollo de actividades deportivas, particulares, y otras que no se soportan por sí mismas.

Así, considerando los criterios de proyección utilizados, se describe a continuación el siguiente detalle de operaciones para el periodo de veinte años, 2021 al 2041.

En este sentido y en relación con su peso, las operaciones proyectadas se han clasificado en dos tipos: operaciones de aeronaves mayores, con MTOW superior a 5.670 kg. o 12.500 lb y operaciones de aeronaves menores con MTOW menor a 5.670 kg o 12.500 lb., de acuerdo con la siguiente tabla de la FAA:

Maximum Airplane Gross Weight Operating on Pavement, lbs (kg)		
<12,500 (5 670)	< 100,000 (45 360)	≥100,000 (45 360)

A su vez, las operaciones mayores, sean militares o de carga (en caso de existir) se presentan subdivididas en aeronaves con MTOW superior a 100 toneladas y aquellas con MTOW inferior a 100 toneladas.

Para el caso de las otras operaciones mayores, distintas a las comerciales, de carga y militares, éstas se agrupan clasificadas en Otras Actividades o Varias Actividades, las que se clasifican en tres distintos rangos de peso (MTOW), aquellas operaciones de aeronaves menores a 25 toneladas (pero mayores a 5,67 toneladas), aquellas entre 25 y 50 toneladas y aquellas mayores a 50 toneladas de MTOW.

Para cada rango de peso señalado de las operaciones mayores, se presenta la aeronave tipo o representativa de cada categoría.

Tabla 3.19: Proyección de Operaciones Totales Atacama.

Año	Operaciones Comerciales					Militares		Carga		Varias Actividades			Ops Menor	Total
	B732-733	B462	A319	A320-A20N	A321	+100 (ton)	<100 (ton)	+100 (ton)	<100 (ton)	<25 ton	<50 ton	>50 ton		
2021	29	48	730	971	873	24	211	0	0,4	50	2	0	464	3.402
2022	37	60	914	1.216	1.093	24	211	0	0,7	63	3	0	581	4.203
2023	41	66	1.017	1.353	1.216	24	211	0	0,9	70	3	0	646	4.649
2024	42	69	1.053	1.402	1.260	24	211	0	1,1	72	4	0	670	4.808
2025	40	65	1.022	1.555	1.359	24	211	0	1,2	76	4	0	707	5.065
2026	38	61	982	1.720	1.465	24	211	0	1,2	81	4	0	747	5.333
2027	35	57	935	1.896	1.577	24	211	0	1,3	85	4	0	787	5.613
2028	32	51	879	2.087	1.697	24	211	0	1,4	90	4	0	831	5.907
2029	28	45	814	2.293	1.825	24	211	0	1,4	95	5	0	876	6.216
2030	23	38	739	2.512	1.960	24	211	0	1,5	100	5	0	923	6.535
2031	18	30	653	2.747	2.102	24	211	0	1,6	105	5	0	971	6.867
2032	13	21	555	2.998	2.254	24	211	0	1,7	110	5	0	1.022	7.217
2033	7	11	446	3.267	2.415	24	211	0	1,8	116	6	0	1.076	7.580
2034	0	0	323	3.554	2.585	24	211	0	1,8	122	6	0	1.131	7.958
2035	0	0	291	3.583	2.905	24	211	0	1,9	128	6	0	1.186	8.336
2036	0	0	254	3.608	3.252	24	211	0	2,0	135	7	0	1.245	8.738
2037	0	0	213	3.623	3.623	24	211	0	2,1	141	7	0	1.305	9.150
2038	0	0	167	3.628	4.018	24	211	0	2,2	148	7	0	1.367	9.573
2039	0	0	117	3.624	4.443	24	211	0	2,3	155	8	0	1.432	10.016
2040	0	0	61	3.611	4.896	24	211	0	2,4	162	8	0	1.500	10.476



Año	Operaciones Comerciales					Militares		Carga		Varias Actividades			Ops	Total
2041	0	0	0	3.589	5.383	24	211	0	2,6	170	8	0	1.570	10.957
<b>Total</b>	<b>354</b>	<b>575</b>	<b>11.434</b>	<b>53.868</b>	<b>51.329</b>	<b>473</b>	<b>4.226</b>	<b>0</b>	<b>33</b>	<b>2.223</b>	<b>108</b>	<b>0</b>	<b>20.574</b>	<b>145.196</b>
<b>Promedio</b>	<b>18</b>	<b>29</b>	<b>572</b>	<b>2.693</b>	<b>2.566</b>	<b>24</b>	<b>211</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>111</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>1.029</b>	<b>7.260</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Total y Promedio consideran periodo 2022-2041

Con respecto a las aeronaves tipo o características de aquellas actividades distintas a las comerciales y que responden a la caracterización de mayores, MTOW superior a 5,7 toneladas, se tienen las siguientes:

Tabla 3.20: Aeronaves Mayores Tipo según actividad y Peso. Atacama.

Actividad	Peso MTOW (ton)	Avión Proxi	
	rango	Tipo	
Carga	<100 ton	AN32	Airbus 320-200Neo
Carga	+100 ton		
Militares	<100 ton	E135	Embraer ERJ-135
Militares	+100 ton	B763	Boeing 767-300
Otras Act.	<25 ton	BE40	Beechjet 400
Otras Act.	<50 ton	B462	Aeroespacial Bae-146-200
Otras Act.	>50 ton		

Fuente: Elaboración Propia.

En términos generales, cabe hacer notar que los resultados de las proyecciones observan una estimación de operaciones en un rango que responde a los escenarios de proyección de la demanda de pasajeros, de acuerdo con las siguientes cantidades agregadas para los 20 años de la proyección.

Tabla 3.21: Proyección de Operaciones Totales Atacama según Escenarios. Periodo 2021 – 2041

Escenario	Comerciales	Militares	Carga	Otras	Total Mayores	Menores	Totales
Base	117.559	4.699	33	2.331	124.622	20.574	145.196
Pesimista	104.900	4.699	31	2.080	111.710	18.358	130.068
Optimista	133.278	4.699	35	2.643	140.654	23.324	163.979

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.3 Estudio De Demanda

El Aeropuerto Desierto de Atacama (SCAT, por su sigla OACI) tiene las siguientes características geopolíticas:

- Se ubica en la Provincia de Copiapó, región de Atacama, a 55 kms al oeste de la ciudad de Copiapó y a 24 km al sureste de la ciudad de Caldera.
- Población regional, 286.168 habitantes (censo de 2017).
- Sirve principalmente a la región de Atacama y a la ciudad de Copiapó, la capital regional y sus alrededores, que, según el último censo de 2017 alcanzaba a los 155.713 habitantes.
- Opera sólo vuelos nacionales.
- Durante 2019 movilizó a 616.458 pasajeros, según fuente Junta de Aeronáutica Civil (JAC), creciendo al 12% anual promedio durante los últimos diez años (período 2010 – 2019).

Íntimamente relacionado con el crecimiento observado de la actividad, es también posible observar cambios estructurales en la industria, que se manifiestan en una caída en las tarifas aéreas, en un fenómeno global que no ha sido ajeno a la realidad nacional.

En efecto, no sólo a nivel nacional, la industria aeronáutica está experimentando profundos cambios asociados a las nuevas maneras de comercialización y tarificación de los viajes a través de las aerolíneas de bajo costo (low cost).

Este fenómeno, considera básicamente la fragmentación de la tarifa de los viajes aéreos, crea espacios para distintos tipos de viajeros y nuevas necesidades de la infraestructura a proyectar. Entre los aspectos a considerar, aparecen nuevas rutas



asociados a los nuevos espacios de viajeros, nuevos diseños de aeronaves y la adaptación de aeropuertos a las necesidades de estas compañías.

De acuerdo con el análisis de las bitácoras de 2019, el aeropuerto Desierto de Atacama conecta principalmente a la región con Santiago, 98,7% de los viajes son vuelos directos a Santiago.

El punto de partida, entonces, para un diseño eficiente y de planificación de los pavimentos, corresponde al estudio de demanda, que se desarrolla a continuación y que permite obtener las operaciones proyectadas para los próximos veinte años.

### 3.2.3.1 Revisión metodológica

El objetivo del estudio de demanda es proyectar la cantidad de pasajeros en SCAT por los próximos veinte años, al año 2041. Una vez estimada la cantidad de pasajeros anuales, se proyectan las operaciones aeronáuticas, caracterizadas por modelo o tipo de aeronave y tipo de actividad que desarrolla y sus características de peso para determinar las operaciones relevantes para el estudio.

Dada la situación que ha afectado a la industria desde comienzos de 2020, producto de la pandemia y las restricciones a la movilidad, cierre de fronteras y confinamiento obligatorio, la tendencia histórica del crecimiento sostenido que mostraba la serie se rompe drásticamente en 2020, generando para efectos de la modelación y las proyecciones un problema, especialmente para la proyección de corto plazo.

Considerando lo anterior, para la proyección de pasajeros se utilizan dos metodologías; la primera, corresponde al juicio de expertos, utilizada para la proyección de corto plazo, período 2021 al 2024; y la segunda, la modelación econométrica para la proyección de largo plazo, desde el año 2025 al 2041.

- **Juicio de Expertos**

Utilizado para la etapa de recuperación de la demanda a sus niveles normales de pre-pandemia. Se aplica al período en el cual la actividad de pasajeros pasa desde el mínimo alcanzado el año 2020 hasta retomar un flujo de pasajeros existente el año 2019, el que según los expertos sería el año 2024.

Para este período, se utiliza un modelo de convergencia matemático que asegura una convergencia creciente a tasas decrecientes y que cumple con las opiniones de los expertos que indica que el año 2024 se retomarían los niveles de actividad de 2019.

El modelo matemático usado fue(7):

$$Pasajeros_t = \alpha \left[ \ln \left( \frac{Pasajeros_{t-1}}{\alpha} \right) \right]^\beta$$

En efecto, según distintas fuentes consultadas, IATA, OACI, y la opinión de los principales operadores, la profunda caída en la demanda retomará gradualmente los niveles pre-pandemia de 2019 en 2024. Esto significa que al año 2024, la cantidad de pasajeros transportados en Atacama alcanzarían los 0,62 millones de personas (llegados más salidos), el nivel del año 2019.

En consideración a la forma de converger al año 2024 con los volúmenes de pasajeros existentes en 2019, expresada en la formulación anterior, cabe mencionar lo siguiente. La formulación matemática busca obtener un paso armonioso desde el bajo nivel de pasajeros observado el año 2020, hasta el nivel prepandemia que se recupera el año 2024 en el escenario base (2023 en optimista; 2025 en pesimista). Para ello, la formulación debe ser consistente con el juicio de expertos, esto

---

(?) Se usó un valor de  $\alpha$  igual a 1000 y el valor de  $\beta$  se ajustó para cumplir con los valores de inicio y término. Nótese que mientras más alto es el valor de  $\alpha$  eso conlleva a que el valor de  $\beta$  sea menor (para cumplir con las condiciones), generando una convergencia más lineal desde el valor de inicio al valor de término.

es, que los primeros años se tenga una recuperación mayor a la siguiente, es decir, que sea una recuperación creciente a tasas decrecientes. La fórmula utilizada para esto queda parametrizada en Alpha y Beta, pero es solo el parámetro Alpha el que se fija a priori, dejando que el parámetro Beta se ajuste a las condiciones de los pasajeros de los años de inicio y de término (esta búsqueda del parámetro se realiza a través de SOLVER).

A modo de ejemplo, a continuación, en el siguiente gráfico #1 se entrega una sensibilización para la transición de pasajeros del aeropuerto de Iquique (válido para todos los aeropuertos de este estudio), imponiendo un parámetro Alpha de 100, 1.000 (utilizado para el caso base de las proyecciones) y 10.000. A partir de estos valores y las condiciones de inicio y término de los pasajeros para los años 2020 y 2024 (en el escenario base), el programa SOLVER encuentra el valor de beta que satisface las condiciones.

Como se puede observar, las variaciones de estos parámetros no cambian sustancialmente la forma en el comportamiento de los pasajeros en la etapa de transición, pero sí tiene incidencia en la curvatura de esta evolución. Así, un mayor valor de Alpha conllevará un menor valor ajustado de beta y de ahí una evolución más lineal de los pasajeros en el período de transición. Cabe señalar que, reducciones en Alpha respecto al valor base considerado, no generan cambios muy significativos en la transición, no así si se consideran valores muy altos para Alpha (Gráfico N° 2), ya que en tal caso la transición cambiará hacia una que sigue siendo creciente pero esta vez a tasas crecientes, lo que contravendría el juicio de expertos.

Gráfico N° 1

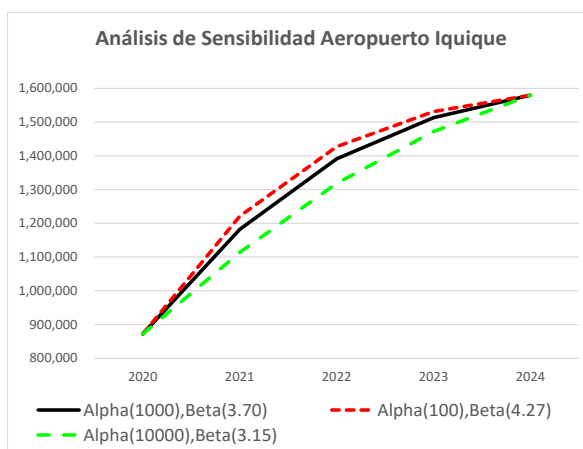
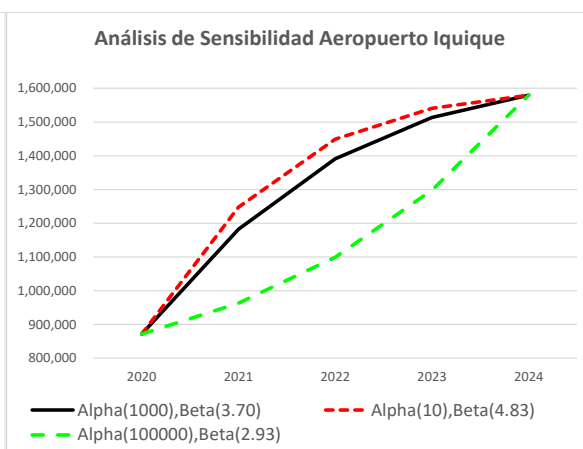


Gráfico N° 2



- **Modelación Econométrica**

Esta modelación se realiza utilizando la data histórica de pasajeros al año 2019 (se excluye de la data el año 2020 por no ser un año representativo de la actividad en Atacama) y posteriormente proyectando las variables explicativas del modelo desarrollado se obtienen las proyecciones para el período 2025 al 2041.

En efecto, para estimar la demanda usando un modelo econométrico, lo que se pretende es establecer una relación funcional entre los pasajeros transportados en el aeropuerto, la variable a explicar en el modelo y las distintas variables explicativas, que de acuerdo con el marco teórico debieran incluirse en un modelo econométrico que permita proyectar los pasajeros y la actividad aeroportuaria (operaciones aeronáuticas) de los próximos veinte años.

**Selección de Variables;** Para llevar a cabo lo anterior, se procede en primer término a analizar aquellas variables explicativas consideradas relevantes a incluir en modelos clásicos de demanda de estas características, tradicionalmente variables de actividad económica, costos, precios e ingresos. Se trata de incorporar variables con ventajas evidentes para el análisis:

Se considera revisar aspectos relacionados con las siguientes características de la información con que se cuenta:

- Disponibilidad de data histórica



- Calidad de las fuentes de información
- Facilidades de proyección al horizonte deseado

**Formulación de Modelos;** En cuanto a los modelos de proyección, se procuran relaciones robustas en términos de los indicadores y formulaciones sencillas en términos de su composición y facilidades de construcción (parsimonia del modelo), cuidando siempre de asegurar que la relación que se establezca en el modelo corresponda a una verdadera relación económica y no a una relación espuria entre las variables incluidas en el modelo.

**Proyección de Pasajeros;** Una vez seleccionado el modelo más eficiente, se está en condiciones de proyectar, con un cierto grado de confianza, la cantidad de pasajeros que demandarán viajes en el Aeropuerto Desierto de Atacama.

### 3.2.3.2 Selección de variables

Se han seleccionado las siguientes variables a considerar como variables explicativas en la formulación del modelo econométrico de proyección de los pasajeros:

- Variables relacionadas con la actividad económica: PIB Nacional y Regional; Empleo; Precio del cobre.
- Variables relacionadas con la estructura de costos de las aerolíneas: Precio del petróleo.
- Variables de precios: Tarifas aéreas.

En consecuencia, las series que han sido consideradas en el análisis corresponden a la de pasajeros totales transportados en el aeropuerto de Atacama, el PIB a nivel nacional, el PIB de la región de Atacama del país, el precio real del cobre, el precio real del petróleo WTI (West Texas Intermediate), un índice de tarifas reales a nivel nacional y nivel de empleo de la región metropolitana.

- En el caso de la variable Turismo, como posible variable explicativa, esta variable presenta algunos inconvenientes para su incorporación en la modelación:
- Alta correlación entre esta variable y la variable PIB, lo que hace redundante su incorporación y puede incorporar sesgos en la modelación;
- variable útil cuando se trata de explicar la demanda por este motivo (turismo), pero no explica la demanda por otros motivos;
- Dificultad para la selección de un indicador apropiado para el sector y dificultad en la proyección de esta variable en el largo plazo

A continuación, comentamos de forma individual cada una de las variables consideradas.

#### 3.2.3.2.1 *Actividad Económica*

De acuerdo con la teoría clásica de demanda y a la experiencia desarrollada en la industria, los niveles de actividad de la economía o el ingreso de las personas son la principal variable que explica el movimiento de pasajeros de un aeropuerto. En particular, la variable PIB (Producto Interno Bruto), resume estas características de actividad y nivel de ingreso. Utilizada de distintas formas, esta variable se encuentra presente en la mayoría de los modelos de proyección de demanda, tanto a nivel local como agregado.

Por lo demás, es una variable que es calculada periódicamente y muy confiable para el análisis y con una serie histórica prolongada.

De acuerdo con lo anterior, se considera analizar para el caso de Atacama la relación que existe entre los pasajeros transportados y dos series de actividad económica: el PIB nacional y el regional. Ambas series son obtenidas del Banco Central de Chile para el período analizado, 1984 – 2020.



En el caso del PIB nacional, la institución informa la serie histórica en base encadenada para todo el periodo de nuestro interés, mientras que en el caso de los PIB regionales, estos están publicados en base encadenada solamente a partir del año 2008, por lo que se procede a empalmar las series hacia atrás a través del método de tasa de variación.

Adicionalmente, interesa analizar el nivel de empleo, como otra variable que refleje actividad y que podría explicar la actividad aeroportuaria.

Si bien es muy probable que exista una relación entre el crecimiento del PIB y el empleo, lo que se pretende verificar en la modelación, es que la inclusión de esta variable pueda mejorar las características del ajuste del modelo, por lo que serán analizadas ambas variables en la modelación.

Con respecto a la proyección de esta variable para su inclusión en el modelo, existen formas de poder relacionar esta variable a PIB y construir sub-modelos que las vinculen al crecimiento del PIB y/o a sus rezagos, lo cual solucionaría el problema de la estimación de las proyecciones.

Otra variable relacionada con la actividad y en especial de esta zona es el precio del cobre. En este caso, interesa medir el impacto de las variaciones del precio del metal sobre la actividad del aeropuerto en Atacama.

#### 3.2.3.2.2 *Precio del Petróleo*

El precio del petróleo es una variable que se puede relacionar al costo de operación de las aerolíneas y por lo tanto se podría relacionar al costo de las compañías de operar una cierta ruta. Interesa medir el impacto de los movimientos de esta variable sobre la cantidad de pasajeros transportados.

Se puede asociar el precio internacional del petróleo WTI (West Texas Intermediate) con la actividad del mercado o el volumen de pasajeros, como una variable “proxy” del costo de los pasajes (una variable proxy es aquella que recoge en forma indirecta el efecto de alguna variable explicativa ausente en el modelo y que se desea incorporar), por lo que se decidió considerarla en el análisis para la estimación econométrica.

Adicionalmente, la Energy Information Administration (EIA) de Estados Unidos, publica las proyecciones de precios anuales para el largo plazo, lo que, en caso de ser seleccionada esta variable para ser incluida en el modelo, facilitaría al momento de las proyecciones.

Como se mencionó anteriormente, no sólo basta incorporar una variable al modelo que tenga sentido para el análisis, sino que también pueda ser proyectada a futuro.

#### 3.2.3.2.3 *Tarifas Aéreas*

Las tarifas aéreas representan el precio que los usuarios deben pagar por volar en un instante del tiempo y por lo tanto representan el costo asociado a los viajes para los usuarios y desde el punto de vista teórico, el efecto de las tarifas o los precios sobre la cantidad demandada de viajes es un efecto deseado de incluir en cualquier modelo de demanda.

Interesa tratar de incorporar esta variable al análisis como una forma de explicar el efecto que ha tenido la irrupción de las compañías aéreas de bajo costo y ultra bajo costo (aerolíneas low cost, por su sigla en inglés) sobre el crecimiento de la demanda de los últimos años.

En efecto, durante los últimos 10 años, la cantidad de pasajeros transportados ha crecido por sobre lo esperado, con tasas de crecimiento inusualmente altas, 13% en promedio para los últimos diez años (2010 – 2019).

Este crecimiento explosivo en la demanda corresponde a un fenómeno internacional que se ha generalizado y desarrollado a partir de la irrupción de las aerolíneas low cost, que también operan en Chile y Atacama a través de compañías como SKY y JetSmart, pero que en la práctica han adoptado este modelo otras compañías, incluyendo al principal operador LATAM, a través de LAN y LXP, con un 50% de participación en Atacama.

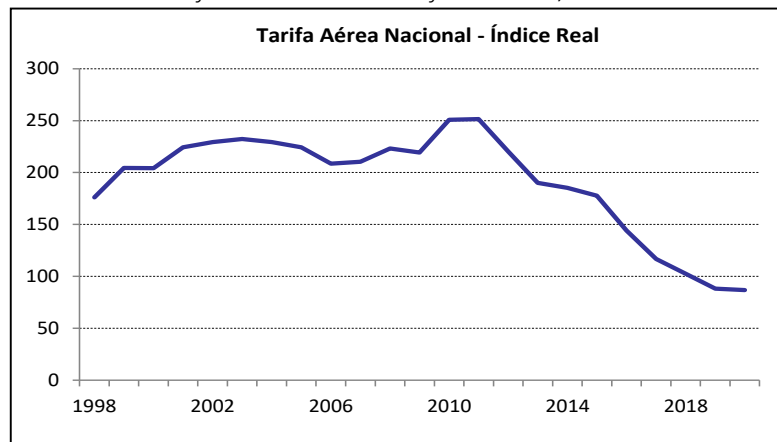
Esta nueva modalidad de comercialización trata de bajar el costo del viaje, diferenciando el valor del ticket que pagan los usuarios de acuerdo a los servicios contratados. De esta forma, el valor real de los pasajes aéreos ha caído y puede ser una explicación del crecimiento en la demanda.

Dada la naturaleza de las tarifas aéreas, donde existe una gran cantidad de tarifas dependiendo de las condiciones de compra (día, fecha, hora, clase, tipo de equipaje, tiempo de la estadía, mes del año, etc.), se hace difícil contar con datos que representen adecuadamente el costo que pagan los usuarios por un viaje o tramo en particular.

Para poder incorporar esta variable al análisis se ha utilizado el índice de precios que el INE entrega en su canasta de precios y cuyo producto es “Servicio de Transporte Aéreo”, y que fue empalmado con los índices de canastas pasadas a través del método de variación. Además, la serie fue deflactada por el IPC para tener una serie de precios en términos reales. Cabe señalar que esta serie corresponde al índice de precios a nivel nacional y es usada como proxy para el tramo que nos interesa.<sup>8</sup>

En el Gráfico 3.6, se observa la evolución de las tarifas aéreas en Chile, medidas a través del Índice elaborado. Se destaca la caída a partir del año 2012 en Chile de las tarifas, medidas en términos reales. Previo al año 2012 se observa una cierta estabilidad en ellas.

Gráfico 3.6: Índice de Tarifas Aéreas v/s años.



Fuente: Elaboración Propia en base a Datos INE

- Efectos Low Cost

Íntimamente relacionado con el crecimiento observado de la actividad, es también posible observar cambios estructurales en la industria que se manifiesta en una baja de tarifas.

En un fenómeno global que no ha sido ajeno a la realidad nacional, la industria aeronáutica está experimentando profundos cambios asociados a las nuevas maneras de comercialización y tarifación de los viajes a través de las aerolíneas de bajo costo (low cost) presentes en la industria desde principios de los años 80 con SouthWest Airlines, Ryanair e Easyjet en los 90.

- Brevemente descrita, la modalidad considera las siguientes características
- La irrupción del modelo considera la fragmentación de la tarifa de los viajes aéreos. Diferencia a los pasajeros de acuerdo con la disponibilidad individual de pago (con o sin maletas, elección de asientos, tiempo de reserva, etc)
- Reduce los costos generales por todos los medios; operacionales, administrativos, servicios a bordo y comercialización principalmente

<sup>8</sup> No fue posible contar con el índice particular de Copiapó porque según el INE al entregar esta información se estaría violando el secreto estadístico de las empresas informantes.



- Optimización de uso de aviones
- Disminución de clases para optimizar la cabina
- Vuelos de corto alcance punto a punto (sin escalas) preferentemente operando en aeródromos secundarios
- Reducciones de costos de mantenimiento utilizando un único tipo de aeronave

Revisando el caso de España, se observan los siguientes efectos concretos que reporta la industria para la región específica y que pueden ser generalizados a nivel global y de Chile:

- Reducción efectiva de precios de los tickets
- Aumento del número de pasajeros
- Aumento de la competencia de aerolíneas
- Aumento de la conectividad
- Desarrollo de aeropuertos secundarios

Entre los aspectos a considerar, aparecen nuevas rutas asociados a los nuevos espacios de viajeros, nuevos diseños de aeronaves con configuraciones de cabina con más asientos y en general, una distribución del peso de las aeronaves en desmedro de la carga o la adaptación de Aeropuertos a las necesidades de estas compañías.

En Chile, casi todas las aerolíneas actúan en modo low cost, ajustando sus estrategias a un mercado más competitivo en que el crecimiento de los vuelos ha provocado los siguientes efectos:

- Caída real de 60% del valor de la tarifa
- Aumento explosivo de los pasajeros transportados originados principalmente en viajes de oportunidad como turismo
- Apertura de nuevas rutas y horarios
- Reducción de los efectos estacionales

#### **3.2.4 Series de Datos a Utilizar**

Para la modelación de la actividad en el aeropuerto y su proyección se han utilizado las siguientes fuentes de información y datos.

Se han utilizado las series de pasajeros históricos totales según aeropuertos, desde el año 1984 al 2019, según fuente JAC (Junta de Aeronáutica Civil), medidos como pasajeros llegados y salidos en cada año, incluyendo pasajeros nacionales e internacionales cuando corresponde; las variables de actividad consideradas, el PIB nacional, regional y precio del cobre; las series de empleo y desempleo y las estadísticas históricas del precio del petróleo WTI en cada año.

Se ha utilizado directamente la serie informada por la JAC al respecto, sin hacer diferencia respecto del traslado de la actividad desde Chamonate el año 2005.



Tabla 3.22: Datos históricos Aeropuerto Desierto de Atacama

Año	N° de Pasajeros	PIB Nacional	PIB III Región	Precio del Cobre	Precio del WTI	Índice de Tarifa	Empleo	IPC EEUU	IPC Chile
	(personas)	(miles de millones de \$ encadenados)	(miles de millones de \$ encadenados)	(U\$S/libra)	(U\$S/galón)	(índice)	(miles de personas)	(índice)	(índice)
1984	4.018	30.037		0,63	29,41		1.262	103,9	100,0
1985	72	31.242	603	0,64	28,00		1.315	107,6	130,8
1986	4.004	32.922	610	0,62	15,05		1.401	109,6	156,6
1987	7.536	35.049	667	0,81	19,21		1.473	113,6	187,6
1988	18.278	37.623	709	1,18	15,98		1.528	118,3	215,4
1989	24.432	41.357	789	1,29	19,69		1.606	124,0	251,9
1990	25.177	42.735	842	1,21	24,51		1.654	130,7	317,1
1991	20.421	46.071	997	1,06	21,52		1.731	136,2	386,8
1992	20.573	51.215	1.131	1,03	20,56		1.809	140,3	446,9
1993	34.150	54.590	1.251	0,87	18,46		1.877	144,5	503,9
1994	52.398	57.336	1.429	1,05	17,21		1.935	148,2	561,8
1995	72.566	62.458	1.632	1,33	18,43		1.954	152,4	608,1
1996	100.615	66.707	1.860	1,04	22,13		2.034	156,9	653,1
1997	130.939	71.662	1.981	1,03	20,59		2.105	160,5	693,2
1998	116.257	74.761	2.106	0,75	14,42	90,5	2.123	163,0	728,7
1999	104.280	74.453	2.071	0,71	19,26	108,6	2.098	166,6	753,1
2000	99.875	78.419	2.036	0,82	30,33	112,6	2.096	172,2	781,9
2001	98.581	81.009	2.128	0,72	25,93	128,1	2.131	177,1	809,8
2002	91.053	83.526	2.045	0,71	26,09	134,3	2.166	179,9	829,9
2003	83.858	86.943	2.090	0,81	31,11	139,8	2.201	184,0	853,3
2004	88.971	93.211	2.101	1,30	41,43	139,6	2.300	188,9	862,4
2005	94.781	98.564	2.147	1,67	56,44	140,7	2.373	195,3	888,7
2006	114.773	104.790	2.363	3,05	66,05	135,2	2.471	201,6	919,0
2007	155.444	109.931	2.550	3,23	72,29	142,3	2.530	207,3	959,3
2008	198.385	113.811	2.656	3,16	99,59	164,2	2.551	215,3	1043,0
2009	214.663	112.030	2.664	2,34	61,69	163,9	2.492	214,5	1059,4
2010	274.699	118.578	2.999	3,42	79,43	190,2	2.606	218,1	1074,5
2011	403.340	125.824	3.335	4,00	95,05	197,0	2.715	224,9	1110,5
2012	515.474	132.516	3.445	3,61	94,16	177,7	2.796	229,6	1143,8
2013	597.841	137.876	3.736	3,32	97,94	156,2	2.834	233,0	1164,3
2014	539.983	140.312	3.460	3,11	93,11	159,3	2.910	236,7	1219,3
2015	427.026	143.545	3.446	2,50	48,71	159,4	2.941	237,0	1272,3
2016	471.965	146.001	3.562	2,21	43,19	134,2	2.950	240,0	1320,5
2017	515.888	147.736	3.434	2,80	50,91	111,1	3.022	245,1	1349,3
2018	570.639	153.571	3.323	2,96	64,82	100,0	3.152	251,1	1382,1
2019	616.458	155.190	3.290	2,72	57,01	88,2	3.213	255,7	1417,5
2020	220.290	145.879		2,80	39,31	89,5	2.840	258,8	1460,6

Fuente: PIB Nacional y Regional, BCCH / WTI: Energy Information Administration, USA Empleo y Desempleo: BCCH y Universidad de Chile / Pasajeros: Junta Aeronáutica Civil / Índice de Tarifas, INE

En cuanto a la consistencia de los datos, es posible observar que, en el caso de cada serie, existe una colección confiable de datos históricos respaldada por distintas instituciones y sus respectivas metodologías de elaboración.

En efecto, mientras que los datos de actividad económica son responsabilidad del Banco Central de Chile, los índices de empleo y desempleo provienen de estudios conjuntos de BCCH y la Universidad de Chile, todos ampliamente utilizados en Chile como referentes de estudios y análisis de actividad económica nacional.

Por su parte, la serie que representa la evolución histórica del precio del petróleo es elaborado por la Energy Information Administration de Estados Unidos de Norteamérica, cuyo indicador WTI es referencia mundial para la variable.

Por su parte, la serie de actividad del aeropuerto corresponde al registro histórico que elabora la Junta de Aeronáutica Civil (JAC) en base al registro detallado de pasajeros embarcados y desembarcados. La colección de datos corresponde a una serie agregada por año, sin correcciones de ningún tipo que muestra pasajeros anuales totales observados, llegados más salidos, nacionales e internacionales, para el periodo 1984 – 2019.

De esta manera, la serie de pasajeros que registra la JAC expresa los niveles de actividad por aeropuerto y sus variaciones sin expresión de condiciones especiales que escapen a comportamientos que puedan ser reflejados como tendencias temporales con explicación econométrica.



En cuanto a la consistencia de los datos, es posible observar que, en el caso de cada serie, existe una colección confiable de datos históricos respaldada por distintas instituciones y sus respectivas metodologías de elaboración.

En efecto, mientras que los datos de actividad económica son responsabilidad del Banco Central de Chile, los índices de empleo y desempleo provienen de estudios conjuntos de BCCH y la Universidad de Chile, todos ampliamente utilizados en Chile como referentes de estudios y análisis de actividad económica nacional.

Por su parte, la serie que representa la evolución histórica del precio del petróleo es elaborado por la Energy Information Administration de Estados Unidos de Norteamérica, cuyo indicador WTI es referencia mundial para la variable.

Por su parte, la serie de actividad del aeropuerto corresponde al registro histórico que elabora la Junta de Aeronáutica Civil (JAC) en base al registro detallado de pasajeros embarcados y desembarcados. La colección de datos corresponde a una serie agregada por año, sin correcciones de ningún tipo que muestra pasajeros anuales totales observados, llegados más salidos, nacionales e internacionales, para el periodo 1984 – 2019.

De esta manera, la serie de pasajeros que registra la JAC expresa los niveles de actividad por aeropuerto y sus variaciones sin expresión de condiciones especiales que escapen a comportamientos que puedan ser reflejados como tendencias temporales con explicación econométrica.

#### 3.2.4.1 Formulación del modelo

Dentro de los modelos usados para proyectar demanda se encuentran de dos tipos, los que trabajan con series de tiempo no estacionarias (habituales en demanda de pasajeros) y los modelos formulados a partir de variables estacionarias como los modelos uniecuacionales, los de vectores autorregresivos (VAR) y los del tipo ARIMA.

En particular, en la modelación econométrica con series de tiempo se pueden clasificar las series en dos grandes tipos, las que son del tipo estacionario y las del tipo no estacionario.

- **Series No Estacionarias;** Se dice que una serie es no estacionaria si su distribución cambia a través del tiempo, su media, por ejemplo, va creciendo en el tiempo. En caso de series de tiempo no estacionarias, el test t-student no es aplicable, ya que la convergencia es hacia una distribución distinta de la forma normal.
- **Series Estacionarias;** En las series de tiempo estacionarias en cambio, es posible observar que la distribución de los estimadores converge a la normalidad, por lo que es posible realizar las pruebas t-student típicas.

Para trabajar con series no estacionarias, como es el caso de la serie de pasajeros, se debe utilizar un enfoque de cointegración, donde se busca establecer una relación de largo plazo entre las variables que se decida incluir en la modelación.

Al verificar la cointegración entre variables, se garantiza el ajuste satisfactorio en el largo plazo, teniéndose además muy buenas propiedades en los estimadores del modelo, aun cuando el ajuste de corto plazo puede resultar ruidoso. De cualquier manera, al verificar cointegración entre variables, será posible mejorar la relación de corto plazo utilizando el modelo de corrección de errores (MCE).

En caso de no verificar la cointegración de variables no estacionarias, se recurre a transformaciones de las series a sus formas estacionarias, para trabajarlas con modelos uniecuacionales, de variables autorregresivas o del tipo ARIMA.

En el proceso de elaboración y formulación de un modelo de proyección se consideran las siguientes etapas de desarrollo:

- **Análisis de variables.** En esta etapa se verifica la no estacionariedad de las series seleccionadas en la etapa anterior

- **Estimación de modelos con series no estacionarias (enfoque de cointegración).** Se buscan modelos con series no estacionarias procurando verificar la cointegración de las series, y en caso de no ser posible, se recurre a la etapa siguiente de estimación de modelos con series transformadas a su forma estacionaria
- **Estimación de modelos con series estacionarias.** En caso de no verificar cointegración entre las series no estacionarias analizadas, se recurre a algún método de transformación para lograr series estacionarias y se trabajan modelos autorregresivos del tipo mencionados anteriormente (ARi, ARIMA, ARIMAX, u otros similares).

#### 3.2.4.1.1 *Análisis de Variables*

Como se mencionó, es necesario verificar la estacionariedad o la no estacionariedad de las series. Este análisis empieza por una inspección visual de las series de tiempo, las que en caso de presentar un patrón con tendencia o con evidentes cambios en la media a través del tiempo, podría estar indicando no estacionariedad.

Considerando que la inspección visual es sólo una primera aproximación, la no estacionariedad de la serie debe ser probada de forma más robusta a través de una prueba estadística, la que, además, debe detectar si la serie tiene una tendencia estocástica (integrada) o tiene una tendencia determinística que al ser removida genera un proceso estacionario.

Para lo anterior, existen diversas pruebas que han sido usados en la literatura, entre los que destacan el de Dickey-Fuller (DF), su versión aumentada para considerar problemas de autocorrelación (ADF), Dickey Fuller en su versión de mínimos cuadrados generalizados propuesta por Elliott, Rothenberg y Stock (DFGLS), Phillips Perron (PP), Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), entre muchos otros.

En este trabajo se utilizará el test de Dickey - Fuller, y sólo en caso de existir dudas respecto al comportamiento de la serie se complementará con otras pruebas.

Cabe destacar que para la modelación se utilizan las variables en su forma logarítmica cuando corresponde, dada la facilidad de interpretación de los resultados en dicha formulación.

En los puntos a continuación se verifica la no estacionariedad de las variables que participan en la formulación del modelo, siguiendo los siguientes pasos:

- A. Se verifica la hipótesis nula de No Estacionariedad con y sin tendencia determinística en la serie de datos de la variable (mitad superior de las tablas de resultados del test de raíz unitaria de DF).
  - a) En efecto, cuando el valor numérico observado de la prueba es mayor que el del test tabulado tanto al 5% como al 10% de error de tipo I, se acepta la hipótesis nula de no estacionariedad de la serie en cuestión.
  - b) Cuando esto se verifica solo para el caso Sin Tendencia Determinística, se verifica la condición determinística de la serie.
- B. Se verifica el grado de integración de la variable. El grado de integración corresponde a la cantidad de diferenciaciones que es necesario realizar a la serie original para obtener una serie estacionaria. Este aspecto se verifica en la mitad inferior de las tablas reportadas del test de raíz unitaria de DF.
  - a) Cuando en la serie de la primera diferencia no se verifica la hipótesis nula (no estacionariedad), se confirma que la serie diferenciada es estacionaria y por lo tanto se dice que la serie original es No estacionaria de orden 1.

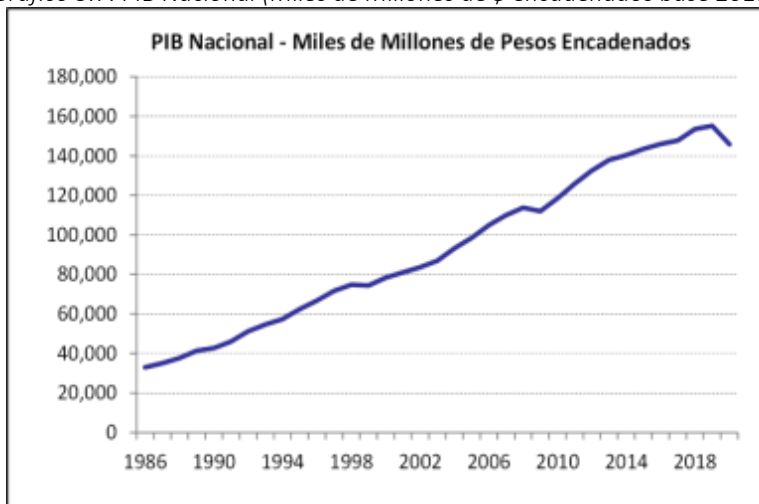
#### 3.2.4.1.2 *Actividad Económica*

Esta serie corresponde a las cifras publicadas por el Banco Central de Chile en términos encadenados, y cuya base de referencia corresponde al año 2013. Como se observa en el Gráfico 3.7 se tiene una tendencia creciente en el tiempo con

relativa estabilidad, destacando dos episodios de descensos acotados, uno el año 1999 con una caída anual de 0,4% derivado de la crisis asiática, y otro el año 2009 con una caída de 1,6% anual, derivado de la crisis financiera global.

Para analizar la estacionariedad de la serie de PIB nacional se presenta la tabla 3.23, donde se lleva a cabo el test ADF. Como se observa, la serie en niveles no es estacionaria, por cuanto los valores del test observado son mayores que los valores críticos a niveles usuales de confianza. Al realizar el mismo test sobre la primera diferencia de la serie se ve que esta no presenta raíz unitaria, es decir, la serie sería estacionaria en diferencia.

Gráfico 3.7: PIB Nacional (Miles de Millones de \$ encadenados base 2013).



Fuente: Elaboración propia con base a datos BCCH

Tabla 3.23: Test de raíz unitaria Dickey – Fuller

Variable	Tendencia	Test Observado	Valor Crítico al 5%	Valor Crítico a 10%
PIB Nacional	Sin	-1.185	-3.000	-2.630
	Con	-0.761	-3.600	-3.240
Primera Diferencia PIB Nacional	Sin	-3.982	-3.000	-2.630
	Con	-4.076	-3.600	-3.240

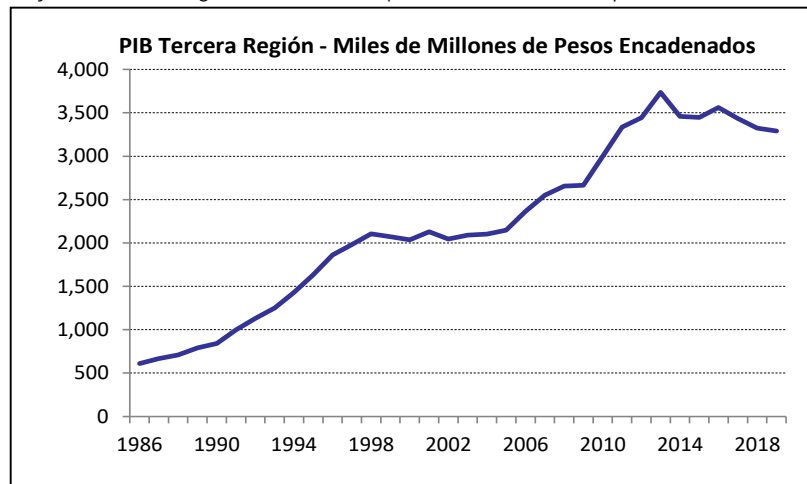
Fuente: Elaboración Propia

Con respecto al PIB regional, esta serie corresponde a las cifras publicadas por el Banco Central de Chile que desde el año 2008 se encuentra en términos encadenados usando la referencia el año 2013. Las cifras previas al año 2008 fueron empalmadas con las cifras de las otras bases de Cuentas Nacionales publicadas por el BCCH usando el método de tasa de variación.

Como se observa en el Gráfico 3.8, la tendencia de la serie es creciente, pero lo hace con oscilaciones importantes, observándose períodos de estancamiento o incluso retroceso hacia el final del período. Este comportamiento, estaría parcialmente explicado por el comportamiento en el precio del cobre, que es un factor muy relevante para la economía de la región.

Para analizar la estacionariedad de la serie se presenta la siguiente tabla 3.24, donde se observa que el test de ADF en nivel evidencia la presencia de raíz unitaria (no estacionariedad), lo que se corrige al hacer una primera diferencia.

Gráfico 3.8: PIB Región de Atacama (miles de millones de pesos encadenados)



Fuente: Elaboración propia con base a datos BCCH

Tabla 3.24: Test de Raíz Unitaria del PIB de la Región de Atacama

Variable	Tendencia	Test Observado	Valor Crítico al 5%	Valor Crítico a 10%
PIB III Región	Sin	-0.766	-3.000	-2.630
	Con	-1.124	-3.600	-3.240
Primera Diferencia PIB III Región	Sin	-3.724	-3.000	-2.630
	Con	-3.650	-3.600	-3.240

Fuente: Elaboración propia con base a datos BCCH

Así, se puede concluir que la serie del logaritmo del PIB de esta región es una serie integrada de orden 1, al igual que el PIB nacional y, por tanto, al trabajar con ella, será posible intentar un modelo con otras series de similar condición, mientras que en el caso de que se deban usar modelos estacionarios, será necesario utilizar la primera diferenciación de la serie.

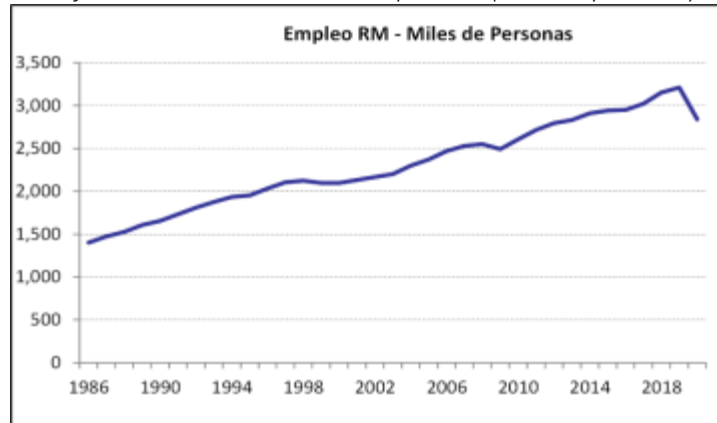
#### 3.2.4.1.3 Variables del Mercado Laboral

Se analizaron las características estadísticas de la serie del logaritmo de la variable empleo, donde se observan variaciones propias de series no estacionarias, lo cual es confirmado con las pruebas de Raíz Unitaria de Dickey – Fuller, que señalan una tendencia estocástica.

Adicionalmente, cabe señalar que la primera transformación (diferenciación de la serie en cuestión) es una serie estacionaria, lo cual confirma la integración de orden 1.

Por tanto, al trabajar con ella, será posible intentar un modelo con otras series de similar condición, mientras que en el caso de que se deban usar modelos estacionarios, será necesario utilizar la primera diferenciación de la serie.

Gráfico 3.9: Serie Histórica del Empleo RM (miles de personas).



Fuente: Elaboración Propia con base a datos BCCH y Encuesta U. de Chile

Tabla 3.25: Test de Raíz Unitaria de Dickey – Fuller.

Variable	Tendencia	Test Observado	Valor Crítico al 5%	Valor Crítico a 10%
Empleo RM	Sin	-0.239	-3.000	-2.630
	Con	-2.087	-3.600	-3.240
Primera Diferencia Empleo RM	Sin	-3.548	-3.000	-2.630
	Con	-3.457	-3.600	-3.240

Fuente: Elaboración Propia

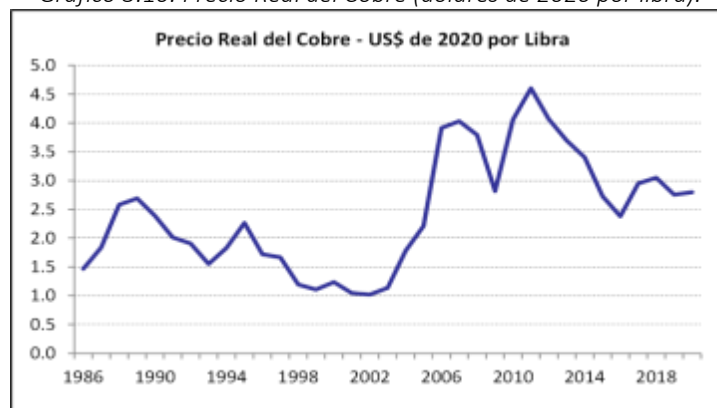
#### 3.2.4.1.4 Precio Real del Cobre

En el siguiente gráfico se presenta la evolución de precio del cobre expresado en dólares del año 2020 usando como deflactor al IPC de Estados Unidos.

Como se observa en una primera parte se tenía una leve tendencia negativa en el precio, observándose un importante aumento a partir del año 2006 desde cuando se ubica en un nivel mayor que el anterior, aunque con una alta volatilidad, parte de ella explicada por la crisis financiera global, y parte de los últimos descensos explicados por mayores dificultades globales de crecimiento, especialmente en la economía de China.

El análisis estadístico de la serie es presentado en la tabla 3.26, donde se observa que al testear el nivel de la serie esta sería no estacionaria, lo que cambia al realizar la misma prueba sobre la primera diferencia de la serie.

Gráfico 3.10: Precio Real del Cobre (dólares de 2020 por libra).



Fuente: Elaboración propia con base a Cochilco y BEA

Tabla 3.26: Test de Raíz Unitaria del Precio Real del Cobre.

Variable	Tendencia	Test Observado	Valor Crítico al 5%	Valor Crítico a 10%
Precio Real Cobre	Sin	-1.096	-3.000	-2.630
	Con	-1.262	-3.600	-3.240
Primera Diferencia Precio Real Cobre	Sin	-3.500	-3.000	-2.630
	Con	-3.420	-3.600	-3.240

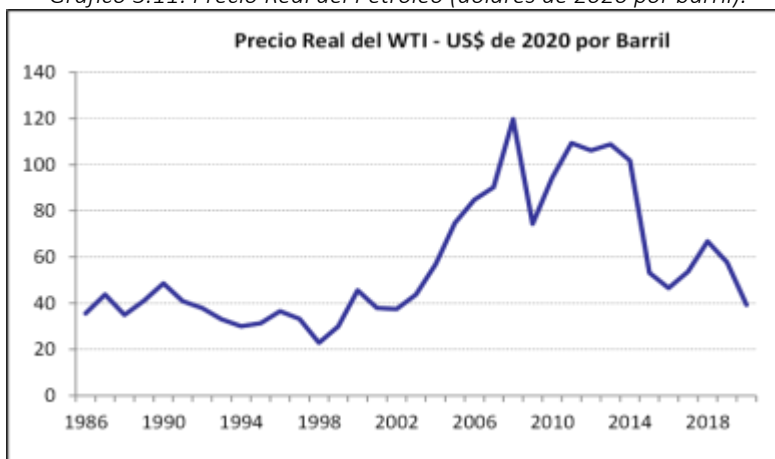
Fuente: Elaboración propia con base a Cochilco y BEA

### 3.2.4.1.5 Precio del Petróleo

Se analizaron las características estadísticas de la serie del logaritmo del WTI, donde se observan variaciones propias de series no estacionarias, lo cual es confirmado con las pruebas de Raíz Unitaria de Dickey – Fuller, que señalan una tendencia estocástica.

Adicionalmente, cabe señalar que la primera transformación (diferenciación de la serie en cuestión) es una serie estacionaria, lo cual confirma la integración de orden 1. Por tanto, al trabajar con ella, será posible intentar un modelo con otras series de similar condición, mientras que en el caso de que se deban usar modelos estacionarios, será necesario utilizar la primera diferenciación de la serie.

Gráfico 3.11: Precio Real del Petróleo (dólares de 2020 por barril).



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.27: Test de Raíz Unitaria de Dickey – Fuller.

Variable	Tendencia	Test Observado	Valor Crítico al 5%	Valor Crítico a 10%
Precio Real WTI	Sin	-1.670	-3.000	-2.630
	Con	-1.308	-3.600	-3.240
Primera Diferencia Precio Real WTI	Sin	-4.393	-3.000	-2.630
	Con	-4.459	-3.600	-3.240

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4.1.6 Índice Real de Tarifas Aéreas

El comportamiento del índice de precio es entregado en el Gráfico 3.12, donde el principal aspecto que se observa es la relativa estabilidad hasta el año 2012, para luego observar un descenso muy significativo<sup>(9)</sup>, lo que en parte estaría siendo explicado por la introducción de más competencia al mercado y las líneas aéreas low cost. Recordemos que este es un índice de cobertura nacional donde se incluyen diversas líneas aéreas, por lo que una parte del precio está representado por las líneas de menores precios.

Para analizar las características estadísticas de la serie de tarifas, se ha construido la Tabla 3.28 que contiene el test ADF y la Tabla 3.29 que contiene dos test adicionales.

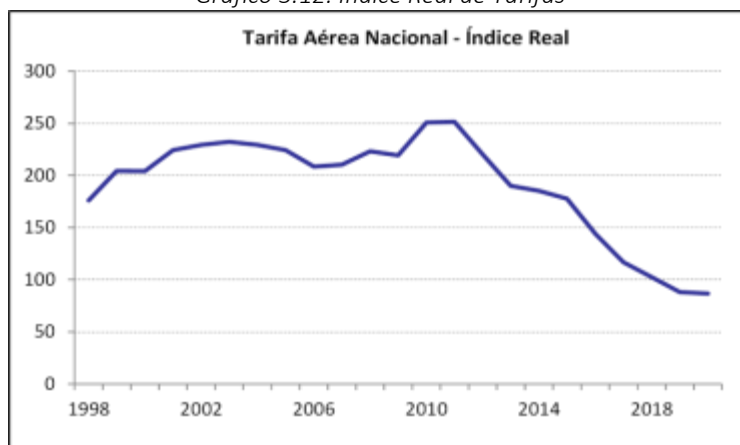
En el primer caso el test ADF nos dice que la serie es no estacionaria en niveles, pero que al diferenciarla sólo sería estacionaria en tendencia, lo cual es extraño y probablemente se debe al importante cambio que se observa a partir del año 2012, que podría estar invalidando el test.

Para obtener una conclusión más robusta se hace uso de un par de test adicionales. El primero de ellos es el DFGLS que es una versión modificada del ADF anterior. Como se observa esta prueba rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria, por lo que la primera diferencia de la serie sí sería estacionaria.

El otro test usado es el de KPSS, cuya hipótesis nula es de estacionariedad. Como se observa en este caso la hipótesis nula no se puede rechazar.

Así, luego de un análisis más detallado de las características estadísticas de esta serie, es posible concluir que la serie en niveles es no estacionaria, pero en primera diferencia es estacionaria.

Gráfico 3.12: Índice Real de Tarifas



Fuente: Elaboración propia

<sup>(9)</sup> Según este índice, la caída desde el año 2011 que es cuando se registró el valor más alto es de 66% hasta el año 2019.

Tabla 3.28: Test de Raíz Unitaria Tarifas Aéreas.

Variable	Tendencia	Test Observado	Valor Crítico al 5%	Valor Crítico a 10%
Tarifa Aérea	Sin	2.002	-3.000	-2.630
	Con	0.026	-3.600	-3.240
Primera Diferencia Tarifa Aérea	Sin	-2.558	-3.000	-2.630
	Con	-3.670	-3.600	-3.240

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.29: Test Adicionales.

Test Adicionales sobre Primera Diferencia de Tarifa Aérea				
Test	Test Observado	Valor Crítico al 5%	Valor Crítico a 1%	Conclusión
DFGLS	-3.803	-3.544	-3.770	Estacionaria
KPSS	0.397	0.463	0.739	Estacionaria

Fuente: Elaboración propia con base a INE

#### 3.2.4.1.7 Variable Dependiente pasajeros totales transportados en Atacama

Esta serie corresponde al total de pasajeros transportados (llegadas y salidas) del aeropuerto de Atacama reportado por la Junta de Aeronáutica Civil (JAC).

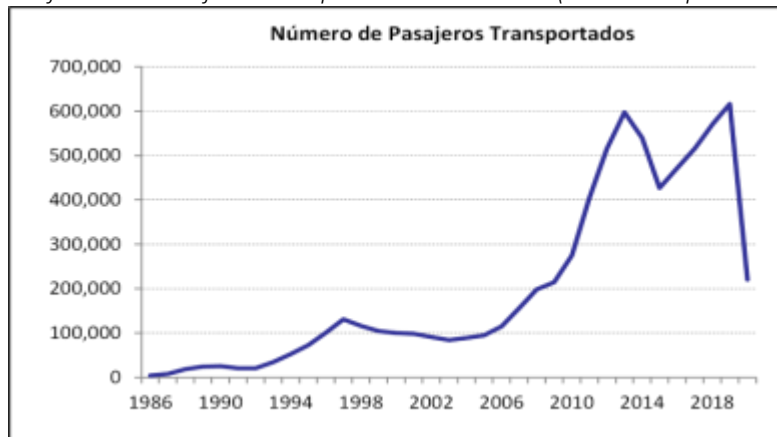
La serie es presentada en el Gráfico 3.13 hasta el año 2020, donde se observa una clara tendencia creciente hasta el año 2019. Producto de la pandemia del COVID 19 y las restricciones a los desplazamientos durante el año 2020, la cantidad de pasajeros cae más del 60% en ese año. En particular, se observa un importante crecimiento desde el año 2006 en adelante, con una caída entre 2014-2015, la que posteriormente tiende a recuperarse hacia el final del período hasta el año 2020, cuando se desploma la demanda y la oferta.

Para analizar la estacionariedad de la serie se presenta la tabla 3.30 con los resultados del test de raíz unitaria de Dickey-Fuller Aumentado (DFA).

Como se observa, la serie es no estacionaria en niveles, por cuanto el valor del test observado se ubica por arriba de los valores críticos para cualquier nivel razonable de confianza.

Al realizar el test sobre la primera diferencia se observa que esta es estacionaria.

Gráfico 3.13: Pasajeros Transportados en Atacama (número de personas)



Fuente: Elaboración propia con base a información de JAC

Tabla 3.30: Test de Raíz Unitaria de ADF del Número de Pasajeros

Variable	Tendencia	Test Observado	Valor Crítico al 5%	Valor Crítico a 10%
Pasajeros	Sin	0.292	-3.000	-2.630
	Con	-2.194	-3.600	-3.240
Primera Diferencia Pasajeros	Sin	-2.637	-3.000	-2.630
	Con	-2.772	-3.600	-3.240

Fuente: Elaboración propia con base a información de JAC

### 3.2.4.2 Selección del modelo y proyecciones

#### 3.2.4.2.1 Criterios Generales de Formulación y Validación del Modelo

En el caso de esta modelación, se partirá utilizando el enfoque de cointegración y sólo en la medida que esto no sea factible (debido a la no existencia de cointegración), se transformará la serie para usar algún enfoque estacionario de modelos autorregresivos como fue señalado.

La elección de esta metodología de cointegración se fundamenta en varios aspectos ventajosos del enfoque a tener en consideración:

En primer lugar, desde el punto de vista estadístico (si bien la cantidad de datos es relativamente pequeña por cuanto los datos son en frecuencia anual), el lapso es importante, 20 años, lo cual contribuye a poder encontrar relaciones de largo plazo.

En segundo lugar, el objetivo específico, encontrar proyecciones de demanda de largo plazo, es adecuado con la estrategia metodológica planteada.

Por último, no se va a requerir gran cantidad de variables que expliquen los detalles de corto plazo que no son muy relevantes para el objetivo, aspecto que nos hace esperar modelos esencialmente parsimoniosos.

Así, formalmente se intentará estimar una ecuación dada por la siguiente forma funcional:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Donde:

- $\varepsilon_t$  resulta ser el error con carácter estacionario (aunque no necesariamente ruido blanco),
- $y_t$  corresponde a la variable dependiente del modelo, expresada en su transformación logarítmica.
- $x_t$  corresponde al set de variables independientes expresadas de igual manera en su transformación logarítmica.

En este modelo, dichas variables son todas integradas del mismo orden.

Se debe mencionar que en general se recurre a modelos logarítmicos, en que las variables serán introducidas como series transformadas en logaritmo natural.

Una característica importante de este tipo de modelos (modelo Log-Log), que lo ha hecho muy popular en el trabajo empírico, es que el coeficiente de la pendiente, B1, mide la elasticidad de Y con respecto a X, es decir, el cambio porcentual en Y ante un pequeño cambio porcentual en X.

Así, si Y representa la cantidad demandada de viajes y X el PIB, B1 mide la elasticidad ingreso de la demanda.



Finalmente, se pueden identificar dos características especiales de los modelos Log-Log: el modelo supone que el coeficiente de la elasticidad entre X e Y, ( $\beta_1$ ), permanece constante a través del tiempo, de aquí su nombre alterno, modelo de elasticidad constante.

Otro aspecto del modelo es que, en la mayor parte de sus aplicaciones prácticas, el término del intercepto ( $\beta_0$ ) es de importancia secundaria.

El trabajar con modelos logarítmicos presenta ciertas ventajas que cabe destacar:

- Permite atenuar los efectos de datos atípicos
- La interpretación de los parámetros  $\beta_i$  es más informativa, ya que representa directamente la elasticidad de la variable.
- En caso de incluir variables independientes que ya se encuentran en porcentaje, el efecto del parámetro  $\beta_i$  estimado representará la semi elasticidad de la variable.

Luego, en el caso de poder plantearse una relación de cointegración debido a la existencia de series integradas de un mismo orden, también se requiere probar la relación de largo plazo que se pretende modelar, ya que no todas las series integradas de un mismo orden cointegran entre sí.

Para esto existen diversos test, entre los que destacan el de Engle y Granger y el de Johansen y Juselius. En el primer caso (Engle y Granger) el investigador asume una cierta variable dependiente y el set de regresores, por lo que la prueba concluye si según el ordenamiento dado existe o no cointegración.

En el caso del test de Johansen y Juselius, además de diferencias metodológicas en la estimación, se puede obtener un número de vectores de cointegración.

Dado que en este estudio se identifica con claridad que la variable dependiente son los pasajeros, y las otras variables analizadas corresponden a las variables explicativas, se va a utilizar la prueba de Engle y Granger.

Adicionalmente, es posible introducir variables binarias o dummy para la estimación del modelo, reflejando eventos puntuales que afectan las series de pasajeros y que pueden ser considerados como extremadamente puntuales y poco probables de repetirse en el horizonte de proyección (al año 2041).

Ejemplos de tales eventos son los atentados a las Twin Towers el año 2001, el cierre o suspensión de operaciones durante algún período en el aeropuerto u otros efectos que alteren la serie de datos en forma extraordinaria. La inclusión de este tipo de variables será analizada en detalle para en caso de que la serie muestre anomalías localizadas y de ser necesario, para cada una de ellas se construirá una variable binaria adecuada, que de ser necesaria será definida con mayor detalle.

#### 3.2.4.2.2 *Formulación y Validación del Modelo*

Previo a estimar diversos modelos, resulta útil observar la matriz de correlaciones de las variables que se van a usar, de manera de no caer en redundancias al incluir variables que podrían estar teniendo prácticamente el mismo comportamiento que otras variables.

En efecto, como se observa en la tabla 2-10, existe una altísima correlación entre el PIB nacional y el PIB de la región de Atacama y el empleo, por lo que no se justificaría la inclusión conjunta de estas tres variables.

También se observa una alta correlación entre el precio del cobre y el precio del WTI, lo que refleja fundamentalmente las condiciones de mercado global para ambos commodities.

Dada nuestra dependencia del cobre vamos a preferir usar su precio en vez del WTI en una regresión donde compitan estas dos variables.

Tabla 3.31: Matriz de Correlaciones

	PIB Nacional	PIB III Región	Precio Cobre	WTI	Tarifa	Empleo
PIB Nacional	1.00					
PIB III Región	0.95	1.00				
Precio Cobre	0.78	0.74	1.00			
WTI	0.59	0.54	0.89	1.00		
Tarifa	-0.56	-0.50	-0.11	0.17	1.00	
Empleo	1.00	0.95	0.77	0.57	-0.59	1.00

Fuente: Elaboración propia con base a las fuentes ya citadas

Como se señaló al inicio, antes de poder realizar una estimación consistente de modelos en niveles, donde por nuestro estudio previo sabemos que interactúan series no estacionarias, es necesario saber si las estructuras propuestas o relaciones entre variables se encuentran efectivamente cointegradas.

Para esto se realizará el test de cointegración de Engle y Granger sobre cada modelo propuesto.

Los resultados de este test son exhibidos en la tabla 3.32. Como se observa en todos los casos analizados, los valores del test observado son mayores que sus contrapartidas críticas o tabuladas a un cierto nivel de confianza de 5% o 10%, lo que está reflejando que no se puede rechazar la hipótesis nula de residuos mal comportados, o lo que es lo mismo, no se puede encontrar una relación de cointegración entre las variables de cada modelo.

Tabla 3.32: Resultados Test de Cointegración de Engle y Granger

Variables Explicativas en Modelo de Cointegración	Test Observado	Valor Crítico al 5%	Valor Crítico al 10%
PIB Nacional	-2.865	-3.643	-3.253
PIB III Región	-2.315	-3.643	-3.253
Precio Real Cobre	-0.323	-3.643	-3.253
WTI	0.123	-3.643	-3.253
Tarifa Real	-1.628	-3.643	-3.253
Empleo RM	-2.637	-3.643	-3.253
PIB Nacional y Tarifa Real	-3.033	-4.170	-3.757
PIB III Región y Tarifa Real	-2.856	-4.170	-3.757
Precio Real Cobre y Tarifa Real	-2.051	-4.170	-3.757
Empleo RM y Tarifa Real	-2.767	-4.170	-3.757
PIB Nacional, Tarifa Real y Precio Real Cobre	-3.052	-4.656	-4.219
PIB III Región, Tarifa Real y Precio Real Cobre	-3.079	-4.656	-4.219

Nota: Cuando fue necesario se corrigió por autocorrelación residual de la segunda etapa

Fuente: Elaboración propia con base a las fuentes ya citadas

Dado el resultado anterior, donde no es apropiado realizar una estimación de un modelo no cointegrado, se procederá a realizar estimaciones de diversos modelos que son conceptualmente factibles, pero esta vez usando las series en sus versiones estacionarias dadas por la primera diferencia<sup>(10)</sup>.

Adicionalmente, se podrá incluir algún tipo de estructura autorregresiva o de media móvil en conjunto con variables explicativas (es decir, se estimarán modelos generales de la forma ARIMAX), para mejorar la explicación.

Los resultados de los modelos se presentan en la tabla 3.33, donde se han estimado 13 estructuras a través del método de máxima verosimilitud, siendo el número superior el valor del parámetro estimado asociado a la variable de cada fila, mientras que el número inferior corresponde al valor del p-value asociado a la prueba de significancia individual del parámetro estimado.<sup>(11)</sup>

<sup>(10)</sup> Dado que las variables en niveles estaban expresadas en logaritmos, su primera diferencia corresponde a la tasa de crecimiento.

<sup>(11)</sup> Esta prueba es para determinar la significancia individual de cada parámetro, donde es usual que para que un parámetro sea considerado significativo se acepte un valor de 10%, 5% o 1%, dependiendo que tan exigente se desee ser con el test.



Las filas más abajo en el cuadro denominadas AIC, BIC y Log Likelihood corresponden a parámetros para discernir qué modelo resulta más apropiado. Tanto el AIC como el BIC son criterios de información, cuyo valor es más bajo mientras mejor es el modelo.

En el caso del Log Likelihood el valor corresponde al logaritmo de la función de verosimilitud, por lo que mientras más alto se encuentre este valor mayor adecuación con los datos efectivos tendría el modelo.

El modelo número 1 considera como única variable dependiente al PIB nacional, teniéndose un valor del parámetro de 2,90 y una importante significancia (p-value de 0,027, lo que se ubica por debajo de 5%).

Los modelos 2, 3 y 4 cambian la variable independiente, usando el PIB de la región de Atacama, el precio real del cobre y el empleo de la Región Metropolitana como determinantes, respectivamente, observándose que, de estos cuatro primeros modelos, el que utiliza el PIB de la región de Atacama resulta más favorable.

A continuación, los modelos 5, 6, 7 y 8 repiten los cuatro primeros modelos, pero agregándose como variable independiente la tarifa real nacional, la que en estos cuatro modelos exhibe un valor negativo acorde con la teoría, y siendo un poco más alto en magnitud en el caso del modelo 6.

Por el lado de la significancia estadística, la inclusión de la variable tarifa solo estaría justificada en el caso del modelo 6, que, a la luz de los otros indicadores, además resulta ser mejor que el modelo donde sólo se usaba el PIB regional. Luego, tomando como base el modelo 6 antes comentado, el modelo 9 explora si resulta útil la incorporación del precio del cobre, encontrándose que esta variable no es estadísticamente significativa y, además, eleva los criterios de información, por lo que se desecha.

Los modelos 10 y 11 consideran el PIB nacional y el PIB regional respectivamente, además de separar el efecto de la tarifa en el año 2012 utilizando una variable dummy interactiva con la tarifa para capturar un cambio de su efecto a partir del año 2012<sup>(12)</sup>, pero esta separación no es útil en ninguno de los dos casos.

Por último, los modelos 12 y 13 exploran si el modelo 6 puede ser mejorado a través de incluir un término autorregresivo de orden 1 (AR(1)) o de media móvil de orden 1 (MA(1)), pero los parámetros asociados no resultan ser estadísticamente significativos y además, se deterioran los criterios de información, por lo que su incorporación no resulta ser favorable.

Así, el modelo escogido es el modelo 6, donde las variables explicativas son el PIB de la región de Atacama y el índice real de tarifa aérea.

Cabe señalar que como es usual, la estimación de los parámetros corresponde a sus valores puntuales, lo que no refleja la amplitud que puede llegar a tener los intervalos de confianza. Dado esto, se debe ser cuidadoso con la lectura de las proyecciones realizadas, por cuanto estas asumen dicho valor puntual estimado y no su variabilidad.

Con todo, el modelo queda expresado de la siguiente forma:

$$\widehat{Pasajeros}_t = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 PIB_{Región\_III}_t + \hat{\beta}_2 Tarifa_t$$

---

<sup>(12)</sup> La dummy es una variable binaria que toma valor 0 o 1. En nuestro caso toma valor 1 desde 2012 en adelante, y 0 en cualquier otro caso.

Tabla 3.33: Resultados de las Estimaciones Modelos Seleccionados

Variables dependientes	Modelo Estimado												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
PIB Nacional	2.90 0.0270				3.17 0.0140						3.66 0.0450		
PIB III Región		2.04 0.0000				2.26 0.0000			2.25 0.0000	2.31 0.0000		1.50 0.0450	1.90 0.0650
Precio Real Cobre			0.25 0.0150				0.22 0.0520			0.04 0.6600			
Empleo				3.45 0.0280				3.36 0.0280					
Tarifa Real					-0.25 0.1670	-0.40 0.0210	-0.21 0.3580	-0.23 0.2160	-0.33 0.0360	-0.36 0.1900	0.23 0.6630	-0.32 0.0750	-0.31 0.0390
Tarifa_Dummy2012										0.05 0.8910	-0.76 0.3630		
AR(1)												0.42 0.2320	
MA(1)													0.21 0.5980
Cte	-0.03 0.5400	0.02 0.4770	0.06 0.0450	0.01 0.7450	-0.04 0.4570	0.02 0.4280	0.06 0.0920	0.01 0.7290	0.01 0.5630	0.02 0.5720	-0.08 0.4230	0.03 0.3460	0.02 0.5000
AIC	-17.77	-25.83	-16.94	-17.40	-16.75	-29.25	-13.93	-15.25	-27.53	-27.38	-15.55	-28.37	-27.75
BIC	-14.50	-22.56	-13.67	-14.13	-12.57	-25.07	-9.75	-11.07	-22.31	-22.15	-10.33	-23.14	-22.52
Log Likelihood	11.89	15.92	11.47	11.70	12.37	18.62	10.97	11.63	18.77	18.69	12.77	19.18	18.87

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.4.3 Proyecciones de demanda

Una vez seleccionado el modelo de proyección, corresponde proyectar la cantidad de pasajeros transportados para los próximos veinte años. Para esto, se proyectan las variables explicativas del modelo; PIB Nacional y Tarifas Aéreas en tres escenarios; el Base (más probable), un escenario pesimista y otro optimista. Es decir, se proyectan los pasajeros transportados en Copiapó en un rango.

#### A. Proyecciones PIB

La variable PIB Nacional es una variable explicativa relevante en la modelación de los pasajeros, sobre todo en el mediano y largo plazo, ya que la proyección de pasajeros de corto plazo, período 2021 a 2024, viene definida por juicio de expertos. A partir de 2025 y en adelante, la variable PIB juega un papel importante en la proyección y para esto se han diseñado tres escenarios: base, pesimista y optimista tal como se describen a continuación:

##### a) Escenario Base:

Este escenario considera la economía chilena, PIB, creciendo a partir de 2022 al 3,0% anual de acuerdo con las estimaciones del Banco Central, para tender a un crecimiento en el largo plazo, al año 2041, en torno al 2,3% anual.

Adicionalmente, según juicio de expertos, el escenario base considera que el nivel de pasajeros del año 2019 se alcanzaría nuevamente en el año 2024.

##### b) Escenario Pesimista:

Este escenario considera la economía chilena, PIB, creciendo a partir de 2022 al 2,5% anual de acuerdo con las estimaciones del Banco Central, para tender a un crecimiento en el largo plazo, al año 2041, en torno al 1,9% anual.

Adicionalmente, el escenario pesimista considera que el nivel de pasajeros del año 2019 se recupera nuevamente en el año 2025 (un año después de lo proyectado por los expertos)

##### c) Escenario Optimista:

Este escenario considera la economía chilena, PIB, creciendo a partir de 2022 al 3,5% anual de acuerdo con las estimaciones del Banco Central, para tender a un crecimiento en el largo plazo, al año 2041, en torno al 2,7% anual.

Adicionalmente, el escenario optimista considera que el nivel de pasajeros del año 2019 se recupera nuevamente en el año 2023 (un año antes de lo proyectado por los expertos).

Tabla 3.34: Proyecciones PIB

Años	Escenario Pesimista	Escenario Base	Escenario Optimista
2021	4,5%	5,5%	6,5%
2022- 2041	Tiende lineal desde un 2,5 % anual en 2022 al 1,91 % anual en 2041	Tiende lineal desde un 3,0 % anual en 2022 al 2,32 % anual en 2041	Tiende lineal desde un 3,5 % anual en 2022 al 2,65 % anual en 2041

Fuente: Elaboración Propia con base a proyecciones BCCH

En general, estas proyecciones de crecimiento se sustentan en el Comité de expertos del PIB tendencial, el que estimó un crecimiento de 3,3% hasta el año 2025. Cabe señalar que el PIB tendencial no es el crecimiento efectivo esperado, sino una medida de capacidad de crecimiento de la economía dados sus factores de producción y sus mejoras en productividad.

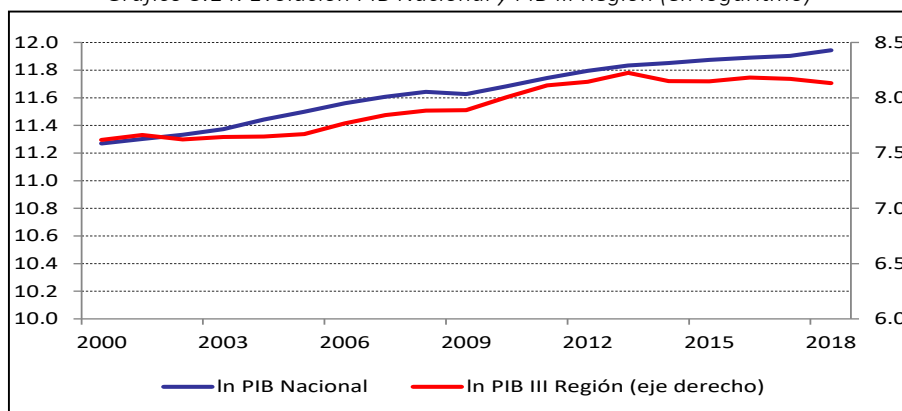
Por su parte, de acuerdo con las cifras que publica el FMI, al observar algunas economías cuando tenían similar PIB per cápita que el que Chile exhibe en la actualidad (medido a Paridad de Poder de Compra, PPP), se observó que el promedio de crecimiento anual de esas economías para los siguientes 20 años fue de 3,7% en Israel, 3,4% en Australia, 2,6% en España y 1,1% en Portugal.

## B. Proyección PIB Regional

Para vincular el comportamiento del PIB regional con la evolución del PIB nacional se observa el crecimiento de ambos durante los últimos 10 años (período 2010-2019).

En el Gráfico a continuación se observa la evolución del comportamiento del PIB nacional y del PIB de la región de Atacama (ambos en logaritmos), para el período analizado.

Gráfico 3.14: Evolución PIB Nacional y PIB III Región (en logaritmo)



Fuente: Elaboración Propia con base a proyecciones BCCH

En el caso del PIB Nacional, se observa un crecimiento de 33% para los últimos diez años considerados, mientras que el PIB de la región de Atacama lo hizo en 21%, lo que conlleva una elasticidad promedio de 0,65, que es la que se utiliza en la proyección del PIB regional.

De esta forma, con las estimaciones para el PIB nacional y el factor de traspaso hacia el PIB de la región de Atacama que ya fue comentado, se ha proyectado el crecimiento del PIB de la región de Atacama en los tres escenarios antes descritos.



Tabla 3.35: Proyección PIB Regional Atacama (miles de millones de \$)

Año	PIB III Región (MM\$)		
	Base	Pesimista	Optimista
2021	3.275	3.255	3.295
2022	3.339	3.307	3.370
2023	3.403	3.360	3.446
2024	3.467	3.413	3.521
2025	3.532	3.466	3.598
2026	3.597	3.519	3.675
2027	3.662	3.572	3.752
2028	3.728	3.625	3.830
2029	3.794	3.678	3.909
2030	3.860	3.731	3.987
2031	3.926	3.784	4.067
2032	3.993	3.838	4.146
2033	4.060	3.891	4.226
2034	4.127	3.944	4.307
2035	4.194	3.997	4.388
2036	4.262	4.050	4.469
2037	4.330	4.103	4.550
2038	4.397	4.156	4.632
2039	4.465	4.209	4.713
2040	4.533	4.261	4.796

Fuente: Elaboración Propia

### C. Proyección Tarifas

Al igual que en el caso del PIB nacional, esta variable explicativa es importante para la proyección de pasajeros de mediano y largo plazo, ya que, para el corto plazo, años 2021 al 2024, los pasajeros proyectados vienen definidos según juicio de expertos.

En el caso de las tarifas aéreas nacionales, si bien estas han caído de forma importante los últimos años en términos reales, se considera que este comportamiento de tendencia no es sostenible en el tiempo.

Para la proyección de las tarifas de mediano y largo plazo, se han considerado tres escenarios posibles y se ha mantenido una tendencia gradual a disminuir su caída histórica.

#### a) Escenario Base:

El escenario base considera que las tarifas crecen al 90% del aumento anual del IPC, es decir, dado que se supuso que el IPC crecería a una tasa anual de 3% (centro del rango meta del Banco Central), las tarifas aéreas lo harían al 2,7% anual (lo que implica una leve caída anual en términos reales).

#### b) Escenario Pesimista:

El escenario pesimista considera que las tarifas crecen al 100% del aumento anual del IPC, es decir, dado que se supuso que el IPC crecería a una tasa anual de 3% (centro del rango meta del Banco Central), las tarifas aéreas lo harían al 3,0 % anual (lo que implica que las tarifas se mantienen en términos reales).

#### c) Escenario Optimista:

El escenario optimista considera que las tarifas crecen al 80% del aumento anual del IPC, es decir, dado que se supuso que el IPC crecería a una tasa anual de 3% (centro del rango meta del Banco Central), las tarifas aéreas lo harían al 2,4 % anual (lo que implica que las tarifas caen en términos reales más que en el caso base).



Luego de proyectadas las variables explicativas en sus distintos escenarios, se procede a proyectar la variable de pasajeros en cada escenario usando el modelo seleccionado en la sección previa.

A continuación, se presentan las proyecciones de pasajeros para el aeródromo Desierto de Atacama, para cada uno de los escenarios proyectados y una visión gráfica de estas mismas proyecciones a largo plazo para los mismos escenarios.

*Tabla 3.36: Proyecciones de Pasajeros Atacama*

Año	Pasajeros según escenario			Crecimiento según escenario		
	Base	Pesimista	Optimista	Base	Pesimista	Optimista
2019	616.458	616.458	616.458			
2020	220.290	220.290	220.290	-64,3%	-64,3%	-64,3%
2021	353.457	345.606	370.453	60,5%	56,9%	68,2%
2022	473.541	456.393	511.587	34,0%	32,1%	38,1%
2023	560.921	536.208	616.458	18,5%	17,5%	20,5%
2024	616.458	586.764	660.215	9,9%	9,4%	7,1%
2025	655.470	616.458	706.870	6,3%	5,1%	7,1%
2026	696.420	650.451	756.041	6,2%	5,5%	7,0%
2027	739.383	685.969	807.830	6,2%	5,5%	6,9%
2028	784.915	723.069	862.857	6,2%	5,4%	6,8%
2029	833.113	762.219	921.801	6,1%	5,4%	6,8%
2030	883.192	802.684	982.777	6,0%	5,3%	6,6%
2031	935.665	844.912	1.048.050	5,9%	5,3%	6,6%
2032	991.187	889.494	1.116.072	5,9%	5,3%	6,5%
2033	1.049.337	935.468	1.188.176	5,9%	5,2%	6,5%
2034	1.110.219	983.410	1.264.579	5,8%	5,1%	6,4%
2035	1.173.938	1.033.389	1.344.822	5,7%	5,1%	6,3%
2036	1.241.937	1.086.073	1.429.843	5,8%	5,1%	6,3%
2037	1.312.407	1.140.382	1.518.284	5,7%	5,0%	6,2%
2038	1.385.393	1.196.960	1.611.835	5,6%	5,0%	6,2%
2039	1.462.415	1.255.884	1.709.119	5,6%	4,9%	6,0%
2040	1.542.914	1.316.541	1.812.776	5,5%	4,8%	6,1%
2041	1.627.822	1.380.395	1.920.538	5,5%	4,9%	5,9%

Fuente: Elaboración Propia

*Gráfico 3.15: Proyecciones Pasajeros*



Fuente: Elaboración Propia



#### 3.2.4.3.1 Proyección de la Actividad Internacional

En la actualidad, no existen operaciones comerciales internacionales regulares en el aeropuerto de Desierto de Atacama. Sin embargo, la apertura de rutas internacionales desde la zona norte, en particular desde El Loa, Andrés Sabella y Diego Aracena, más la apertura anunciada por uno de los principales operadores de estas rutas para otros aeropuertos nacionales como Carriel Sur, hacen pensar que la apertura de una ruta internacional desde Desierto de Atacama, en particular a Lima, es muy probable, considerando a este aeropuerto como parte de la red de aeropuertos de la zona norte con viajes a Lima u otros destinos internacionales a operar en un futuro, principalmente destinos internacionales hacia el norte.

De esta forma, considerando que tres de los aeropuertos de la zona norte operan esta ruta internacional, a la cual se sumarán otros aeródromos hacia ese mismo destino (Carriel Sur, según lo ha manifestado el operador), es plausible tener en cuenta para la proyección de la demanda de Desierto de Atacama, la probable incorporación de esta ruta a la red de aeropuerto del norte.

Para estimar la demanda, en términos de pasajeros y operaciones, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- En la actualidad, los pasajeros con destino a Lima, desde Atacama, se encuentran considerados dentro de la demanda con destino a Santiago y luego estos pasajeros embarcan desde Santiago con destino a Lima. Esto significa que estos pasajeros hoy vuelan a Santiago para conectar a Lima y forman parte de los pasajeros proyectados inicialmente en la modelación total de Atacama. No hay modelación aparte de la actividad internacional.
- La flota a utilizar y su proyección en estas operaciones internacionales hacia Lima se corresponde con la utilizada en la red nacional para este aeropuerto.
- Se supone que esta nueva ruta podría tardar unos años en implementarse y comenzar a operar mientras no existan las facilidades en las actuales instalaciones, proyectadas en el nuevo AR que se desarrolla. Para efectos de estas proyecciones, se considera el año 2024 como primer año de operaciones internacionales.

### 3.2.5 Caracterización De Operaciones Aeronáuticas

#### 3.2.5.1 Generalidades

El estudio se desarrolla sobre la base de las bitácoras detalladas de operaciones por aeródromo de la red aeroportuaria primaria durante el año 2019 (enero a diciembre) y las bitácoras históricas desde el año 2009 al 2020.

Brevemente descrito, el registro operativo en bitácoras incluye las principales características de cada operación aeronáutica que se desarrolla en todos los aeródromos de la red primaria, en estructura de base de datos.

El registro completo de las bitácoras de actividad incluye entre otros, los siguientes campos de descripción:

- Código OACI del aeródromo
- Fecha y hora de la operación
- Aterrizaje, despegue u otra
- Actividad (comercial, militar, de carga, etc.)
- Empresa u operador
- Matrícula de la aeronave
- Tipo de aeronave (marca - modelo)

Para el caso particular del aeropuerto de Atacama, se observa la siguiente distribución de operaciones según actividad que registran las bitácoras procesadas durante los últimos doce meses considerados.



Tabla 3.37: Actividades de Aeronaves Observadas según bitácoras (enero – diciembre 2019).

Código	Actividad	Operaciones	Participación
U	Traslado de Pasajeros	4.543	87,7%
P	Deportivas	269	5,2%
R	Particulares	140	2,7%
N	Ambulancia Aérea	92	1,8%
X	Vuelo de traslado	84	1,6%
	Otras	54	1,0%
	<b>Total</b>	<b>5.182</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia con base a Bitácoras DGAC

Dada la importancia relativa de las distintas actividades en la caracterización global de operaciones del aeropuerto, en los puntos a continuación se realiza una descripción general de las aeronaves que caracterizan cada actividad.

De acuerdo con la importancia relativa de las actividades observadas, se describen en general las siguientes actividades para el aeropuerto:

- Actividad Comercial de Pasajeros
- Actividad de Carga
- Actividad Militar
- Otras Actividades

### 3.2.5.2 Operaciones comerciales

Las operaciones comerciales observadas en las bitácoras bajo análisis en Atacama se encuentran principalmente caracterizadas por actividad de aeronaves mayores con operaciones regulares.

Debido a la especial etapa de transición de la industria comercial en la región, se observan al menos dos efectos que están afectando la proyección de flotas en el corto y mediano plazos:

- Crecimiento de la flota. Renovación de aviones de LAN, SKY y JetSmart con migración hacia aviones de mayor capacidad, en el rango del A320, A321 y del tipo A320 Neo (con cabina ampliada a 175 asientos, distribuidos en una clase).
- Menor participación del A319 por renovación de la flota.

En el cuadro a continuación se muestran las principales aeronaves que registran las bitácoras para la actividad comercial, destacando la baja presencia de aeronaves menores, condición que se explica en la condición geográfica regional que ofrece facilidades evidentes para el transporte terrestre de corto y mediano alcance, así como la cercanía de otros aeródromos de la red aeroportuaria primaria.

Tabla 3.38: Aeronaves Observadas en Actividad Comercial Según bitácoras DGAC (año 2019).

Aeronave	Operaciones	Participación	Tipo	MTOW	Capacidad (pax)
A320	1.589	35,0%	Pax - com	78	174
A321	1.428	31,4%	Pax - com	89	220
A319	1.194	26,3%	Pax - com	70	144
A20N	78	1,7%	Pax - com	78	174
B462	32	0,7%	Transporte	42	100
B732	16	0,2%	Pax - com	50	125
B200	4	0,1%	Pasajeros	6,3	8
G150	4	0,1%	Jet corporativo	12	7
Otras aeronaves	198	4%		<5,7 ton	
<b>Total</b>	<b>4.543</b>	<b>100%</b>			

Fuente: Elaboración propia con base a Bitácoras DGAC



Con respecto a los operadores y su evolución histórica, se tiene la información de las principales empresas operadoras en el aeropuerto, para el período 2009 – 2019.

Tabla 3.39: Operadores Históricos Periodo 2009 – 2019

Etiquetas de fila ▼	SKU	LXP	LAN	6I	27B	PCP	11G	1	2	JAT	Total general
2009	2464	1695	110	1049			213	223	309		7060
2010	2630	1861	167	1036		392	191	495	230		8331
2011	2473	2442	178	1202	2206	1284	598	411	197		12482
2012	2593	2703	368	1770	668	996	431	277	299		12159
2013	2698	2762	851	565	830	389	264	552	277		10861
2014	2240	2169	1036	927		2	282	259	70		7998
2015	1374	1127	943	10			244				4816
2016	1298	1239	952				117				4367
2017	1306	1042	991				218			250	5468
2018	1446	1183	851	2			308			668	5344
2019	940	835	623				182			450	3499
(en blanco)											
<b>Total general</b>	<b>21462</b>	<b>19058</b>	<b>7070</b>	<b>6561</b>	<b>3704</b>	<b>3063</b>	<b>3048</b>	<b>2217</b>	<b>1382</b>	<b>1368</b>	<b>82385</b>

Fuente: Elaboración propia con base a Bitácoras DGAC

Se observa que para los últimos diez años 2009 - 2019 en Atacama, existe un operador histórico principal de la ruta, SKU (Sky Airlines) con 26% de participación en las rutas operadas, luego la empresa LATAM a través de sus empresas LAN y LXP, que concentran juntas aproximadamente el 32% de las operaciones históricas.

Luego han existido intentos de participar de este mercado por parte de otras aerolíneas menores, como es el caso de Aerolíneas Principal que operó hasta el año 2014 y a partir de 2017 comienza a operar JetSmart, aerolínea de bajo costo, que durante los dos últimos años ha alcanzado una participación relativa de 17% aproximadamente de las operaciones totales en la zona.

### 3.2.5.3 Operaciones de carga

No se observan operaciones de aeronaves registradas como carga, operaciones del tipo T, en las bitácoras del periodo estudiado (sólo 14 operaciones durante 2009 – 2019). Esta actividad no es relevante para el análisis de pavimentos.

### 3.2.5.4 Operaciones militares

A partir de 2015 caen significativamente las operaciones militares en Atacama. Según se ha informado, a partir del año 2014, se dejan de registrar estas operaciones en bitácoras DGAC, por lo que no se dispone de información de esta actividad posterior a esa fecha.

De acuerdo con esto, no se cuenta con información que permita proyectar dichas operaciones en Aeropuerto de Atacama de manera consistente.

Se describen a continuación las operaciones militares desde el año 2009 al 2019, entre las otras principales actividades.

Tabla 3.40: Operaciones Actividad Militar. Periodo 2009 a 2019.

Militares	Año	Comerciales Pasajeros		Deportivos Particulares		Otras		S. Total
1.891	2009	4.386	85%	584	11%	199	4%	5.169
2.158	2010	5.197	84%	695	11%	281	5%	6.173
4.459	2011	6.658	83%	1.039	13%	326	4%	8.023
3.559	2012	6.549	76%	1.421	17%	630	7%	8.600
2.702	2013	6.790	83%	1.102	14%	267	3%	8.159
1.269	2014	4.411	82%	752	14%	202	4%	5.365
68	2015	3.462	73%	1.112	23%	174	4%	4.748



Militares	Año	Comerciales Pasajeros		Deportivos Particulares		Otras		S. Total
16	2016	3.502	80%	616	14%	233	5%	4.351
0	2017	4.394	80%	758	14%	316	6%	5.468
11	2018	4.390	82%	688	13%	255	5%	5.333
28	2019	4.543	88%	409	8%	202	4%	5.154
6	2020	1.331	87%	61	4%	132	9%	1.524
	<b>Total Periodo</b>	<b>55.613</b>	<b>82%</b>	<b>9.237</b>	<b>13%</b>	<b>3.217</b>	<b>5%</b>	<b>68.067</b>

Fuente: Elaboración propia con base a Bitácoras DGAC

### 3.2.5.5 Otras operaciones

A diferencia de las operaciones individualizadas anteriormente, en este punto se agregan el resto de las operaciones que no responden a las clasificaciones comerciales, militares ni de carga, principalmente aviación general particular, ambulancias y otras.

Tabla 3.41: Resumen Otras Actividades. Periodo septiembre 2018 – agosto 2019.

Aeronave	Operaciones	Participación	Tipo	MTOW	Capacidad (pax)
C550	26	4,1%	pasajeros	8,00	8
BE20	22	3,4%	Utilitario	6,30	8
B200	12	1,9%	Pasajeros	6,30	8
BE40	6	0,9%	Jet Ejecutivo	7,30	10
B462	4	0,6%	Transporte	42,00	100
LJ45	4	0,6%	Jet corporativo	9,20	9
C551	2	0,3%	minijet corporativo	6,80	8
GALX	2	0,3%	Jet corporativo	15,80	10
Otras aeronaves	561	87,8%		<5,7 ton	
<b>Total</b>	<b>639</b>	<b>100%</b>			

Fuente: Bitácoras de Actividad Aeroportuaria

### 3.2.5.6 Análisis histórico de operaciones

En base a las bitácoras de la DGAC para el período 2009– 2019, se elabora la información respecto a la evolución de las operaciones por los distintos tipos de actividad y la evolución del embarque medio de las operaciones comerciales que caracteriza al aeropuerto cada año.

Se describe a continuación la evolución histórica que han tenido las operaciones comerciales que operan en Atacama y su evolución histórica durante el período 2009 – 2019, registrando el crecimiento del avión medio de la flota en el tiempo, producto de la oferta de la industria, de las flotas de los distintos operadores en las rutas operadas y el crecimiento de la demanda en cada aeropuerto.

Tabla 3.42: Evolución de la actividad, embarque y avión medio. 2009 a 2019.

Año	pax	hrs/año	ops	Pax/op	astos/avion	ocup	horas uso	Ops H1	ops/día
2009		2.294	4.386	0	124,4	0,0%	2.878	7	12
2010	274.699	2.876	5.197	53	124,7	42,4%	2.977	8	14
2011	403.340	3.480	6.658	61	132,6	45,7%	2.997	7	18
2012	515.474	3.664	6.549	79	149,9	52,5%	3.016	7	18
2013	597.841	3.805	6.790	88	155,1	56,8%	2.762	7	19
2014	539.983	3.340	5.491	98	161,5	60,9%	2.549	6	15
2015	427.026	2.334	3.462	123	167,9	73,5%	2.690	4	9
2016	471.965	2.465	3.502	135	173,9	77,5%	2.949	4	10
2017	515.888	3.034	4.394	117	176,7	66,4%	3.178	4	12
2018	570.639	3.026	4.390	130	174,6	74,4%	3.528	5	12
2019	616.458	2.757	4.275	144	177,8	81,1%	3.648	7	12

Fuente: Elaboración Propia con base a Bitácoras DGAC



### 3.2.5.7 Análisis histórico de rutas

Se presentan las principales rutas desde SCAT, nacionales e internacionales, analizadas para el período 2009 – 2020 y para los últimos cuatro años, período 2016 – 2020.

Según se observa, la ruta con Santiago (AMB) corresponde a la principal, con 94% de las operaciones comerciales durante los últimos 4 años. La participación de esta ruta ha crecido con respecto a lo que ésta representaba la década pasada, 82%

Tabla 3.43: Evolución de las operaciones según Rutas.

Rutas Comerciales		2009 - 2020		2016 - 2020	
		# ops	%	# ops	%
Total		54.488		17.742	
SCCL	AP. ARTURO MERINO BENITEZ	44.409	82%	16.621	94%
SCCF	AD. EL LOA	3.309	6%	141	1%
SCSE	AD. LA FLORIDA	2.528	5%	365	2%
SCFA	AP. ANDRES SABELLA	2.310	4%	560	3%
SCDA	AD. DIEGO ARACENA	1.407	3%	6	0%
SCES	AD. RICARDO GARCIA POSADA	473	1%	40	0%
SCAR	AP. CHACALLUTA	22	0%	2	0%
SCIE	AD. CARRIEL SUR	6	0%	3	0%
SCAT	AD. DESIERTO DE ATACAMA	5	0%	0	0%
SASA	Salta/Argentina	4	0%	0	0%
Otros		15	0,0%	4	0,0%

Fuente: Elaboración propia con base a bitácoras DGAC.

### 3.2.6 Proyección De Operaciones Aeronáuticas

Se procede a continuación a proyectar las operaciones para los próximos veintiséis años, el período 2019 - 2045, caracterizando las operaciones por tipo de actividad.

#### 3.2.6.1 Aspectos generales

Las proyecciones de operaciones aéreas se realizan por área de actividad, en la medida que los datos y antecedentes de la industria así lo permitan. De esta manera, se consideran los siguientes criterios generales según clasificación de actividad:

- **Actividad Comercial de Pasajeros;** se realizan proyecciones de operaciones en base a los antecedentes de proyección en dos distintos planos o variables; demanda de pasajeros y proyecciones de flota. Adicionalmente se considera proyectar operaciones internacionales en el mediano plazo.
- **Actividad de Carga;** No se proyectan actividades de carga relevantes en este aeropuerto (categorizadas tipo T en bitácoras). En la actualidad, la carga transferida por modo aéreo en la zona se transporta principalmente en los aviones de rutas comerciales de pasajeros.

Sin embargo, para efectos de la proyección de esta actividad y con el fin de adoptar un criterio conservador en las proyecciones y no excluir potenciales operaciones de carga a futuro, se considera a partir del año 2024 el promedio histórico de esta actividad para los últimos 11 años, período 2009 – 2020, proyectado al año 2041 de acuerdo con el crecimiento de la actividad comercial que es el principal motor del crecimiento en este aeropuerto.

- **Actividad Militar;** la proyección de esta actividad obedece a decisiones políticas y estrategias territoriales informadas que pueden hacer variar la actividad en un plano distinto de las variaciones vegetativas o de otra naturaleza. En el caso de Atacama, no se observan operaciones militares en la bitácora analizada.

Sin embargo, el hecho de que no se registren las operaciones militares en las bitácoras corresponde a una decisión estratégica más que operativa. Por este motivo, con el fin de no excluir las operaciones militares de la proyección,



y dada la falta de información que permita proyectar de manera consistente esta actividad, se establece como criterio incluir anualmente en las proyecciones las operaciones militares promedio-históricas, registradas en el período 2009 – 2014

- **Otras actividades;** en general se proyectan asociadas al desarrollo de la actividad aeronáutica regional, asumiendo que el desarrollo de la industria en un aeródromo conforma una oferta de apoyo de servicios a la actividad y provee una base de facilidades para el desarrollo de actividades deportivas, particulares, y otras que no se soportan por sí mismas.

Para el caso del aeródromo de Atacama y las necesidades del presente estudio, las proyecciones de operaciones se realizan sobre la base de las proyecciones de la actividad comercial de pasajeros en aeronaves mayores, y el resto de las actividades se proyectan con crecimientos que siguen la tendencia de la aviación comercial.

En efecto, la actividad de aviación mayor que muestran las bitácoras en este aeropuerto se observa fuertemente marcada por las operaciones de la actividad comercial que representan aproximadamente el 81% de las operaciones mayores, relevantes para el análisis.

De esta manera, para la actividad comercial de pasajeros se trabaja en base a la demanda proyectada de pasajeros, los aspectos de flota y operaciones observadas, las tendencias generales de la industria, actividades observadas en aeródromos y rutas aéreas en la región.

#### *3.2.6.2 Proyección de operaciones comerciales de pasajeros*

Para la proyección de operaciones comerciales de pasajeros se trabaja la data de operaciones en base a los antecedentes de proyección en dos distintos planos o variables; demanda de pasajeros y proyecciones de flota.

##### *3.2.6.2.1 Demanda de Pasajeros*

La demanda de pasajeros se encuentra abundantemente desarrollada en el capítulo anterior, que brevemente descrito, genera una proyección de pasajeros al horizonte del estudio en base a un modelo econométrico que proyecta basado en la evolución que tenga el PIB regional y evolución de las tarifas aéreas.

Esta proyección desarrolla un perfil de demanda en el aeródromo que espera una tasa de crecimiento promedio cercana al 10% anual para el horizonte al año 2021 - 2041 y que estima un embarque aproximado a los 800 mil pasajeros pasajeros anuales al año 2041, aproximadamente 1,6 millones de pasajeros embarcando y desembarcando ese mismo año.

##### *3.2.6.2.2 Proyecciones de Flota*

Por su parte, para la flota de aeronaves se estima una evolución que se desarrolla a partir de la flota actual, que permite predecir cambios en el mediano plazo y que necesita de supuestos para su proyección en el largo plazo.

En tal sentido, se consideran los siguientes criterios generales para realizar las proyecciones de flota al horizonte del estudio considerando los cambios recientes o anunciados de corto plazo. Entre estos;

- Aumento de la participación relativa de las aeronaves del tipo A321 y A320. Actualmente en operaciones el A320 Neo y a futuro la proyección incluye aeronaves de características similares a estos dos tipos en términos de capacidad, tamaño, alcance y MTOW.
- Disminución de operaciones del A319; esto tiene su explicación en el cambio estructural de la flota de LAN para la región y para las rutas en Chile.
- Crecimiento sostenido de la flota hacia aviones de mayor capacidad en rutas regulares.

En los criterios de proyección de mediano y largo plazos se cuentan, por una parte, las intenciones declaradas de gestión de flota que expresan las compañías aéreas en términos de declaraciones de prensa y opciones de compra con los



fabricantes de aviones, y, por otra parte, la tendencia natural de la industria a servir los aumentos de demanda con aviones de mayor tamaño.

En este sentido las principales consideraciones para la proyección corresponden a los siguientes:

- El aumento de tamaño de las aeronaves se confirma con los compromisos comerciales de LAN para incorporar en el área aviones del fabricante Airbus de la serie 320s y 321 para su operación nacional y en la región; principalmente A320 densificados y A321 con una capacidad de 220 pasajeros en una clase.
- El supuesto definido por la tendencia de la industria respecto del aumento del tamaño de las aeronaves dice relación con considerar la incorporación de un avión de mayor capacidad, que en este caso se caracteriza con la incorporación a la flota de los operadores de una aeronave del tipo A321.
- Finalmente, la manera de atenuar los cambios y conformar un escenario conservador de demanda de operaciones, dice relación con realizar un supuesto de composición tendencial de la flota con dos horizontes de proyección:
  - Horizonte 1, año 2034. Se elimina el avión tipo B737 y se reduce a 5% la participación de aviones del tipo A319. Flota de A320 y A320 Neo predominan en la flota comercial, con 55% de participación. El A321 representa el 40% al año 2034.
  - Horizonte 2, 2035 al año 2041. Se mantiene la participación minoritaria de aviones menores y se aumenta la participación progresiva de aviones tipo A321 en desmedro de los del tipo A320 y A319 (que desaparece de la flota).

Adicionalmente, se ha considerado para la proyección la tasa de ocupación de la flota o aeronaves. En la actualidad, la tasa observada es de 80% y para su proyección se ha considerado que llega al 90% en 2045.

Se observa en el siguiente cuadro la proyección esperada de la flota, considerando los criterios anteriores, que evidencian flotas observadas para el enero - diciembre 2019 y supuestas para los horizontes descritos. En cada columna se indica el tipo de avión y su capacidad en número de asientos (primera fila del encabezado de la tabla).

De igual manera, se incluye la columna Avión Medio, donde se expresa la capacidad promedio de la flota comercial proyectada para cada año y que se expresa en asientos por avión. Este avión promedio se calcula como un promedio ponderado de la participación relativa de cada avión y su capacidad dentro de la flota total.

*Tabla 3.44: Participación de Aeronaves en la flota Proyectada.*

<b>Año</b>	<b>125,0 B732-733</b>	<b>100 B462</b>	<b>144 A319</b>	<b>174 A320-A20N</b>	<b>220 A321</b>	<b>Avión Medio</b>
2019	1,1%	1,8%	27,5%	36,6%	32,9%	179,0
2020	1,1%	1,8%	27,5%	36,6%	32,9%	179,0
2021	1,1%	1,8%	27,5%	36,6%	32,9%	179,0
2022	1,1%	1,8%	27,5%	36,6%	32,9%	179,0
2023	1,1%	1,8%	27,5%	36,6%	32,9%	179,0
2024	1,1%	1,8%	27,5%	36,6%	32,9%	179,0
2025	1,0%	1,6%	25,3%	38,5%	33,6%	180,2
2026	0,9%	1,4%	23,0%	40,3%	34,3%	181,4
2027	0,8%	1,3%	20,8%	42,1%	35,0%	182,6
2028	0,7%	1,1%	18,5%	44,0%	35,8%	183,8
2029	0,6%	0,9%	16,3%	45,8%	36,5%	185,0
2030	0,4%	0,7%	14,0%	47,7%	37,2%	186,1
2031	0,3%	0,5%	11,8%	49,5%	37,9%	187,3
2032	0,2%	0,4%	9,5%	51,3%	38,6%	188,5
2033	0,1%	0,2%	7,3%	53,2%	39,3%	189,7
2034	0,0%	0,0%	5,0%	55,0%	40,0%	190,9
2035	0,0%	0,0%	4,3%	52,9%	42,9%	192,4
2036	0,0%	0,0%	3,6%	50,7%	45,7%	194,0
2037	0,0%	0,0%	2,9%	48,6%	48,6%	195,5
2038	0,0%	0,0%	2,1%	46,4%	51,4%	197,0
2039	0,0%	0,0%	1,4%	44,3%	54,3%	198,5
2040	0,0%	0,0%	0,7%	42,1%	57,1%	200,1
2041	0,0%	0,0%	0,0%	40,0%	60,0%	201,6

Fuente: Elaboración Propia con base a Bitácoras DGAC



### 3.2.6.2.3 Proyecciones Esperadas de Operaciones

En base a los antecedentes anteriores se realiza la proyección de operaciones comerciales. Los resultados se muestran en la siguiente tabla, a continuación.

Tabla 3.45: Proyección de Operaciones según tipos de Aeronaves Comerciales Mayores

Año	B732-733	B462	A319	A320-A20N	A321
2019	48	78	1.194	1.589	1.428
2020	20	32	489	650	584
2021	29	48	730	971	873
2022	37	60	914	1.216	1.093
2023	41	66	1.017	1.353	1.216
2024	42	69	1.053	1.402	1.260
2025	40	65	1.022	1.555	1.359
2026	38	61	982	1.720	1.465
2027	35	57	935	1.896	1.577
2028	32	51	879	2.087	1.697
2029	28	45	814	2.293	1.825
2030	23	38	739	2.512	1.960
2031	18	30	653	2.747	2.102
2032	13	21	555	2.998	2.254
2033	7	11	446	3.267	2.415
2034	0	0	323	3.554	2.585
2035	0	0	291	3.583	2.905
2036	0	0	254	3.608	3.252
2037	0	0	213	3.623	3.623
2038	0	0	167	3.628	4.018
2039	0	0	117	3.624	4.443
2040	0	0	61	3.611	4.896
2041	0	0	0	3.589	5.383
Total	354	575	11.434	53.868	51.329
Promedio	18	29	572	2.693	2.566

Fuente: Elaboración Propia con base a Bitácoras DGAC  
Total y Promedio consideran periodo 2022-2041

### 3.2.6.2.4 Operaciones de Actividad Internacional

De acuerdo con las consideraciones expuestas en la proyección de pasajeros para actividad internacional en el aeropuerto y la actividad que observan otros aeropuertos en la región, en esta etapa se procede a la estimación de las operaciones de la actividad en el aeropuerto. Las principales consideraciones al respecto son las siguientes:

- Considerando que existe demanda en la zona norte para viajes a Lima y evitar el paso por Santiago, el paso comercial natural es la posible apertura de la misma ruta y por la misma compañía desde Atacama.
- Dados los tamaños relativos de los aeropuertos (medido en término de pasajeros transportados) de Antofagasta, Calama y Atacama, se puede pensar que la apertura de una ruta de este tipo sería de un vuelo a la semana, a partir de un par de años, 2024, una vez se desarrollen las obras de adaptación.
- Los pasajeros de esta ruta desde Atacama hoy están proyectados en los pasajeros totales del modelo. Esto significa que estos pasajeros con destino a Lima hoy vuelan a Santiago para conectar a Lima y forman parte de los pasajeros proyectados inicialmente en la modelación.

Considerando que la modelación de pasajeros para este aeródromo es una modelación agregada, donde no se modela en forma particular la posibilidad de actividades internacionales y que la flota para las posibles operaciones internacionales se considera dentro de la flota proyectada para la actividad nacional, descrita anteriormente, entonces para los fines del estudio, diseño y planificación de pavimentos, no es relevante separar los pasajeros en cada una de estas rutas y la actividad internacional se incluye en las operaciones totales proyectadas por la modelación.



### 3.2.6.3 Estadísticas de movimiento de carga

De acuerdo con los antecedentes disponibles de la JAC - MTT, la participación del aeródromo Desierto de Atacama en el tráfico aéreo de carga nacional es inferior al 1%; al 2018 llegó solo al 0,6%. En la tabla siguiente se muestra esta información, se observa que el tráfico de carga ha ido disminuyendo desde el año 2005 a la fecha.

*Tabla 3.46: Tráfico de Carga Copiapó y Nacional*

Año	Carga (ton)		Participación Copiapó
	Copiapó	Nacional	
2005	359	29.730	1,2%
2006	324	30.640	1,1%
2007	314	29.651	1,1%
2008	344	27.923	1,2%
2009	314	27.295	1,2%
2010	317	29.203	1,1%
2011	389	30.978	1,3%
2012	312	30.197	1,0%
2013	344	28.457	1,2%
2014	303	26.740	1,1%
2015	356	25.025	1,4%
2016	205	29.688	0,7%
2017	164	31.150	0,5%
2018	181	31.343	0,6%

Fuente: Elaboración Propia

Respecto del tráfico de carga con el extranjero, según los datos de la JAC-MTT no hay movimiento de carga desde o hacia el extranjero en este aeródromo en el período 2005 – 2018.

### 3.2.6.4 Proyección general de operaciones

De acuerdo con lo expresado al inicio del capítulo, la proyección general de operaciones se realiza sobre la base de la tendencia que impone la actividad comercial de pasajeros en aviones mayores, de manera consistente con el peso e importancia relativa que la actividad tiene en el total de operaciones del aeropuerto.

En efecto, la operación comercial regular representa una proporción muy alta de las operaciones de aeronaves relevantes, en términos del peso máximo de despegue (MTOW) de las aeronaves que utilizan los distintos aeropuertos. En tal sentido, se considera la referencia de las operaciones comerciales para proyectar la cantidad total de operaciones del aeródromo y particularmente las operaciones específicas por tipo de avión, atendiendo a que las operaciones de aeronaves comerciales de pasajeros representan más del 87% de las operaciones relevantes en este aeropuerto.

A continuación, se muestra la proyección general de operaciones según actividad.

*Tabla 3.47: Proyección de Operaciones relevantes y totales según tipos de Actividad*

Año	Operaciones Comerciales					Militares		Carga		Varias Actividades			Ops Menor	Total
	B732-733	B462	A319	A320-A20N	A321	+100 (ton)	<100 (ton)	+100 (ton)	<100 (ton)	<25 ton	<50 ton	>50 ton		
2021	29	48	730	971	873	24	211	0	0,4	50	2	0	464	<b>3.402</b>
2022	37	60	914	1.216	1.093	24	211	0	0,7	63	3	0	581	<b>4.203</b>
2023	41	66	1.017	1.353	1.216	24	211	0	0,9	70	3	0	646	<b>4.649</b>
2024	42	69	1.053	1.402	1.260	24	211	0	1,1	72	4	0	670	<b>4.808</b>
2025	40	65	1.022	1.555	1.359	24	211	0	1,2	76	4	0	707	<b>5.065</b>
2026	38	61	982	1.720	1.465	24	211	0	1,2	81	4	0	747	<b>5.333</b>
2027	35	57	935	1.896	1.577	24	211	0	1,3	85	4	0	787	<b>5.613</b>
2028	32	51	879	2.087	1.697	24	211	0	1,4	90	4	0	831	<b>5.907</b>
2029	28	45	814	2.293	1.825	24	211	0	1,4	95	5	0	876	<b>6.216</b>
2030	23	38	739	2.512	1.960	24	211	0	1,5	100	5	0	923	<b>6.535</b>
2031	18	30	653	2.747	2.102	24	211	0	1,6	105	5	0	971	<b>6.867</b>
2032	13	21	555	2.998	2.254	24	211	0	1,7	110	5	0	1.022	<b>7.217</b>
2033	7	11	446	3.267	2.415	24	211	0	1,8	116	6	0	1.076	<b>7.580</b>
2034	0	0	323	3.554	2.585	24	211	0	1,8	122	6	0	1.131	<b>7.958</b>



Año	Operaciones Comerciales					Militares		Carga		Varias Actividades			Ops	Total
2035	0	0	291	3.583	2.905	24	211	0	1,9	128	6	0	1.186	<b>8.336</b>
2036	0	0	254	3.608	3.252	24	211	0	2,0	135	7	0	1.245	<b>8.738</b>
2037	0	0	213	3.623	3.623	24	211	0	2,1	141	7	0	1.305	<b>9.150</b>
2038	0	0	167	3.628	4.018	24	211	0	2,2	148	7	0	1.367	<b>9.573</b>
2039	0	0	117	3.624	4.443	24	211	0	2,3	155	8	0	1.432	<b>10.016</b>
2040	0	0	61	3.611	4.896	24	211	0	2,4	162	8	0	1.500	<b>10.476</b>
2041	0	0	0	3.589	5.383	24	211	0	2,6	170	8	0	1.570	<b>10.957</b>
<b>Total</b>	<b>354</b>	<b>575</b>	<b>11.434</b>	<b>53.868</b>	<b>51.329</b>	<b>473</b>	<b>4.226</b>	<b>0</b>	<b>33</b>	<b>2.223</b>	<b>108</b>	<b>0</b>	<b>20.574</b>	<b>145.196</b>
<b>Promedio</b>	<b>18</b>	<b>29</b>	<b>572</b>	<b>2.693</b>	<b>2.566</b>	<b>24</b>	<b>211</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>111</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>1.029</b>	<b>7.260</b>

Fuente: Elaboración Propia  
Total y Promedio consideran periodo 2022-2041

A continuación, se presentan las operaciones comerciales proyectadas de SCAT en rutas de conexión con AMB, considerando que ésta ruta ha representado cerca del 94% de las operaciones comerciales totales de SCDA en los últimos años.

Tabla 3.48: Proyección Operaciones Comerciales de SCAT y de Conexión con AMB.

Año	ops totales	ops conexión SCEL
2022	3.320	3.110
2023	3.694	3.460
2024	3.826	3.585
2025	4.042	3.786
2026	4.266	3.996
2027	4.500	4.215
2028	4.746	4.446
2029	5.005	4.689
2030	5.272	4.939
2031	5.550	5.199
2032	5.842	5.473
2033	6.146	5.757
2034	6.462	6.054
2035	6.778	6.350
2036	7.115	6.665
2037	7.460	6.988
2038	7.813	7.320
2039	8.184	7.667
2040	8.569	8.027
2041	8.972	8.405

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.7 Comparación Histórica 2014 – 2018

#### 3.2.7.1 Recopilación de movimiento de aeronaves en el área de movimiento

Se presenta a continuación una recopilación de las operaciones anuales de las principales aeronaves en Atacama durante el período 2014 – 2019 y un cuadro comparativo con la participación relativa de las distintas aeronaves en las operaciones totales de cada año.

Tabla 3.49: Operaciones por tipo de Aeronaves 2014 - 2019.

Tipo	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total (ops)	Participación (%)
A320	2.507	1.886	1.236	1.268	1.822	1.668	10.387	32,7%
A319	1863	1216	1367	1272	1370	1194	8282	26,0%
A321	16	342	886	1049	956	1428	4677	14,7%
CRJ2	0	0	0	788	152	0	940	3,0%
C206	178	180	105	132	202	142	939	3,0%
C172	165	98	96	148	140	100	747	2,3%
C210	102	142	66	106	100	64	580	1,8%
C152	465	6	0	0	4	2	477	1,5%
C150	376	0	0	2	18	0	396	1,2%
C90A	32	80	28	63	98	56	357	1,1%



Tipo	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total (ops)	Participación (%)
Otros	930	866	583	640	482	528	4.029	12,7%
<b>Total</b>	<b>6.634</b>	<b>4.816</b>	<b>4.367</b>	<b>5.468</b>	<b>5.344</b>	<b>5.182</b>	<b>31.811</b>	<b>100,0%</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.50: Participación relativa de aeronaves área de Movimiento 2014 - 2019.

Tipo	2014	2015	2016	2017	2018	2019
A320	38%	39%	28%	23%	34%	
A319	28%	25%	31%	23%	26%	
A321	0%	7%	20%	19%	18%	
CRJ2	0%	0%	0%	14%	3%	
C206	3%	4%	2%	25	4%	
C172	2%	2%	2%	3%	3%	
C210	2%	3%	2%	2%	2%	
C152	7%	0%	0%	0%	0%	
C150	6%	0%	0%	0%	0%	
C90A	0%	2%	1%	1%	2%	
Otros	14%	18%	13%	12%	9%	
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.7.2 Monografía de las 10 aeronaves más incidentes

A continuación, las aeronaves más incidentes que operan o han operado en Copiapó durante los últimos años, período 2014 – 2019, en términos de sus principales características; MTOW; envergadura alar; largo y tipo de tren de aterrizaje.

Tabla 3.51: Características de las principales aeronaves 2014 - 2019.

Tipo	MTOW (ton)	Envergadura Ala (m)	Largo (m)	Tren de Aterrizaje	Dimensión Tren (m)
A320	78,0	34,1	35,7	triciclo retractil	7,59
A319	70,0	34,1	33,8	triciclo retractil	7,59
A321	89,0	34,1	44,5	triciclo retractil	7,59
CRJ2	24,0	21,2	26,8	triciclo retractil	4,01
C206	1,7	10,9	8,6	triciclo fijo	2,69
C172	1,1	10,9	8,2	triciclo fijo	2,69
C210	1,8	11,2	8,6	triciclo retractil	2,69
C152	0,8	10,2	7,3	triciclo fijo	2,69
C150	0,7	10,2	6,6	triciclo fijo	2,69
C90A	4,6	15,3	10,8	triciclo retractil	5,66

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.7.3 Conclusiones de período 2014 – 2019

A manera de conclusión, se destaca la alta participación de las aeronaves comerciales en las operaciones totales de este aeródromo durante los últimos años. En efecto, se observa que en 2014 la actividad comercial representaba el 66% de las operaciones totales y en 2019 esta participación sube al 87%.

El resto de las actividades y sus aeronaves son marginales en términos de la cantidad de operaciones, envergadura y otras características de estas aeronaves (peso, etc.).

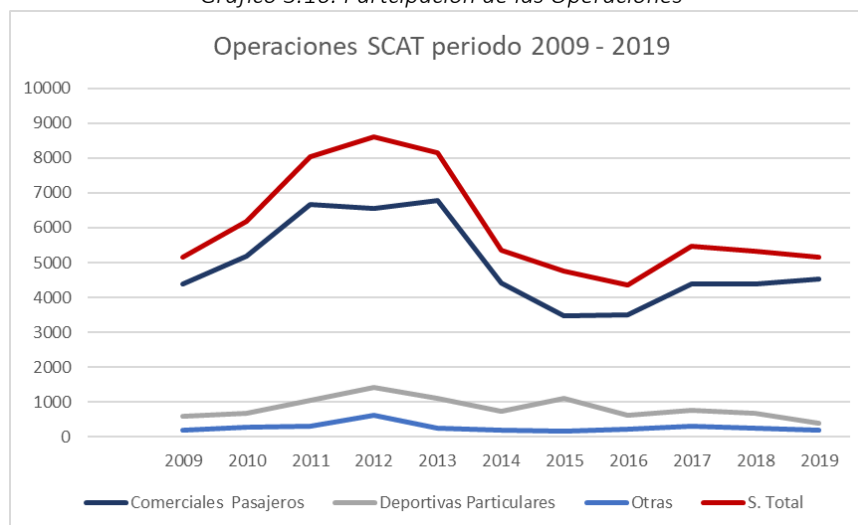
La cantidad de operaciones totales se mantienen relativamente estables durante el mismo período. La actividad comercial en este período también se mantiene estable. Sin embargo, destaca el aumento en la participación del A321, cuya participación en 2014 era nula y en 2019 alcanza al 28% de las operaciones comerciales.

Tabla 3.52: Participación relativa de las principales actividades. Atacama 2014- 2019.

Año	Comerciales Pasajeros		Deportivos Particulares		Otras		S. Total
		%		%		%	
2009	4.386	85%	584	11%	199	4%	5.169
2010	5.197	84%	695	11%	281	5%	6.173
2011	6.658	83%	1.039	13%	326	4%	8.023
2012	6.549	76%	1.421	17%	630	7%	8.600
2013	6.790	83%	1.102	14%	267	3%	8.159
2014	4.411	82%	752	14%	202	4%	5.365
2015	3.462	73%	1.112	23%	174	4%	4.748
2016	3.502	80%	616	14%	233	5%	4.351
2017	4.394	80%	758	14%	316	6%	5.468
2018	4.390	82%	688	13%	255	5%	5.333
2019	4.543	88%	409	8%	202	4%	5.154
2020	1.331	87%	61	4%	132	9%	1.524
<b>Total Periodo</b>	<b>55.613</b>	<b>82%</b>	<b>9.237</b>	<b>13%</b>	<b>3.217</b>	<b>5%</b>	<b>68.067</b>

Fuente: Elaboración Propia  
Excluye Operaciones Militares

Gráfico 3.16: Participación de las Operaciones



Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, se destaca el crecimiento de la flota promedio utilizada en la principal actividad, la comercial de traslado de pasajeros (operaciones tipo U, en bitácoras). Así como en 2014, el avión medio de la actividad comercial correspondía a una aeronave con capacidad para 162 pasajeros, en 2019 la capacidad promedio de la aeronave de la flota comercial había crecido a 178 pasajeros.

Tabla 3.53: Crecimiento Flota promedio

Año	pax	hrs/año	ops/año	Pax/op	astos/avion	ocup
2009		2.294	4.386	0	124,4	0,0%
2010	274.699	2.876	5.197	53	124,7	42,4%
2011	403.340	3.480	6.658	61	132,6	45,7%
2012	515.474	3.664	6.549	79	149,9	52,5%
2013	597.841	3.805	6.790	88	155,1	56,8%
2014	539.983	3.340	5.491	98	161,5	60,9%
2015	427.026	2.334	3.462	123	167,9	73,5%
2016	471.965	2.465	3.502	135	173,9	77,5%
2017	515.888	3.034	4.394	117	176,7	66,4%
2018	570.639	3.026	4.390	130	174,6	74,4%
2019	616.458	2.757	4.275	144	177,8	81,1%

Fuente: Elaboración Propia



### 3.3 EVALUACIÓN FUNCIONAL DE LOS PAVIMENTOS EXISTENTES

#### 3.3.1 Introducción

A continuación, se presenta la Sub Etapa N°3.3, donde se determinará el estado superficial de los pavimentos que componen el Aeropuerto Desierto de Atacama ubicado en Copiapó, asociado al análisis de Roce y Perfilometría.

#### 3.3.2 Medición De La Fricción

##### 3.3.2.1 Medición de coeficiente de roce

El coeficiente de roce de un pavimento expresa la oposición al deslizamiento que ofrece la superficie de dicho pavimento al entrar en contacto, en este caso, con la superficie de los neumáticos de las aeronaves.

Las mediciones fueron realizadas por la empresa APSA en enero de 2021, con un equipo GRIP TESTER con el que se midió la pista en forma continua a los 3m y 5m del eje a ambos lados con un sistema de rueda parcialmente bloqueada a 65 km/h de acuerdo a la normativa OACI vigente, siendo la unidad del equipo el grip number (GN) que corresponde a la relación entre las fuerzas medidas de carga vertical/resistencia a la rodadura.

El equipo de medición desliza una rueda sobre el pavimento, pero con una inclinación respecto a la dirección de circulación, lo cual genera una fuerza de reacción transversal. Esto representa mejor la situación de derrape en zonas de curvas o en alguna reacción de frenado el pavimento.

Las características de ensayo fueron:

• Tipo de Neumático según OACI (A, B, C)	C
• Presión de neumático	140 Kpa
• Velocidad a la cual se realizó el ensayo	65 Km/ hr
• Profundidad de la película de agua	1mm

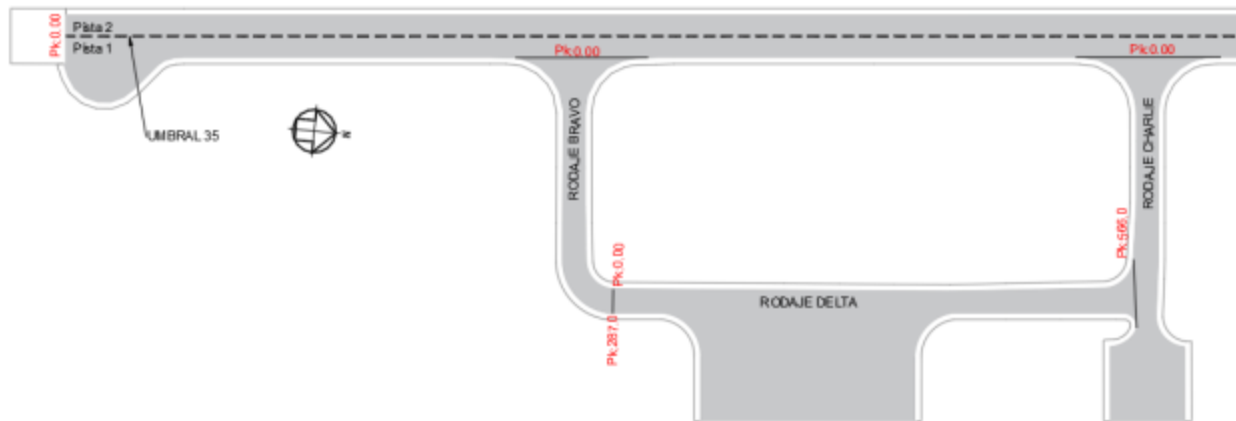
La pista del aeropuerto es de asfalto y tiene una longitud total de aproximadamente 2.200m. Para efectos de esta medición, y con el fin de que la identificación sea más sencilla, la pista se ha dividido longitudinalmente en dos zonas. En base a ello y según la forma de medición se ha denominado P1 a la pista derecha (Este) y P2 a la pista izquierda (Oeste).

P1 y P2 se indican como las pasadas derecha e izquierda de los valores GN. Estos valores de Grip Number cada 5 metros se obtienen de la medición realizada con equipo Grip Tester, el cual mide la Resistencia al Deslizamiento mediante un neumático de goma lisa normalizada, con rueda bloqueada a 14.5% sobre el pavimento mojado, para obtener los valores promedio de los sectores, cabe destacar que los valores de Grip Number los entrega el equipo de manera directa.

Además, tal y como indica el Anexo 14 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, los datos obtenidos se han analizado para cada tercio de la pista, calculándose con ello el valor medio de rozamiento para cada uno de los tramos que miden 700m aprox. Las medidas se entregan desde el umbral 35 al 17 (sur - norte)

Se adjunta figura esquemática:

Figura 3.2: Esquema Pista



Fuente: Elaboración propia

El equipo utilizado entrega valores cada 3 y 5 m. Las siguientes tablas presentan GN promedios cada 200m, con una velocidad de ensayo de 65 Km/hr.

Cabe mencionar que se establecen una serie de valores límite del coeficiente de rozamiento por debajo de los cuales deben tomarse una serie de medidas, valores que dependen del equipo con que se realiza el ensayo. A continuación, se incluyen los valores para el equipo utilizado y sobre los cuales se analizarán los valores obtenidos:

En general en los 1ros y últimos metros las mediciones salgan algo distorsionadas por las velocidades del equipo, por lo que se descarta considerar algunos tramos de evaluación.

Los valores para el equipo utilizado y sobre los cuales se analizaron los valores obtenidos a una velocidad de 65 Km/hr respectivamente son:

- Nivel de rozamiento mínimo: coeficiente de rozamiento por debajo del cual debería facilitarse información de que la pista puede ser resbaladiza cuando está mojada. Valor 0,43
- Nivel de rozamiento de mantenimiento: coeficiente de rozamiento por debajo del cual deberían iniciarse medidas correctivas y de mantenimiento. Valor 0,53
- Objetivo de diseño para nuevas pistas: coeficiente para superficies nuevas o repavimentadas. Valor 0,74

### 3.3.2.1.1 Medición a 3 metros

#### 3.3.2.1.1.1 Coeficiente de roce de pista a velocidad de 65 Km/h

Tabla 3.54: Roce de Pista Velocidad de 65 Km/h a 3m

TRAMO		GN 65 km/hr	
Di	Df	P1	P2
0	200	0,69	0,62
200	400	0,68	0,61
400	600	0,61	0,61
600	800	0,71	0,72
800	1000	0,65	0,69
1000	1200	0,60	0,66
1200	1400	0,65	0,74
1400	1600	0,71	0,72
1600	1800	0,64	0,71
1800	2000	0,58	0,69

TRAMO		GN 65 km/hr	
<i>D<sub>i</sub></i>	<i>D<sub>f</sub></i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>
2000	2200	0,76	0,72
2200	2400	0,85	0,94

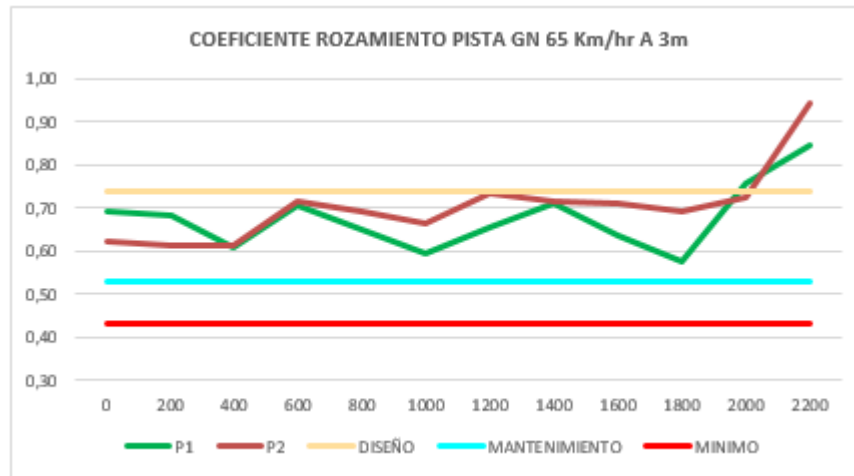
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.55: Simbología

Superior >0,74
Diseño <0,74
Mantenimiento <0,53
Mínimo <0,43

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.17: Coeficiente Roce de Pista a Velocidad de 65 Km/h



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.1.1.2 Promedio coeficiente de roce pista por tramo

Luego, los promedios de cada tercio de Pista en las dos distancias de ensayo, serán:

Tabla 3.56: Promedio Roce Pista por Tercio

TERCIO		GN 65 km/hr	
<i>D<sub>m1</sub></i>	<i>D<sub>f</sub></i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>
0	800	0,67	0,64
800	1600	0,65	0,70
1600	2400	0,70	0,77

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.1.2 Medición a 5 metros

#### 3.3.2.1.2.1 Coeficiente de roce de pista a velocidad de 65 Km/h

Tabla 3.57: Roce de Pista Velocidad de 65 Km/h a 5m

TRAMO		GN 65 km/hr	
<i>D<sub>i</sub></i>	<i>D<sub>f</sub></i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>
0	200	0,72	0,68
200	400	0,70	0,70
400	600	0,66	0,62
600	800	0,69	0,67
800	1000	0,71	0,66
1000	1200	0,73	0,57
1200	1400	0,74	0,60
1400	1600	0,77	0,64



TRAMO		GN 65 km/hr	
<i>D<sub>i</sub></i>	<i>D<sub>f</sub></i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>
1600	1800	0,76	0,67
1800	2000	0,76	0,60
2000	2200	0,78	0,70
2200	2200	0,92	0,75

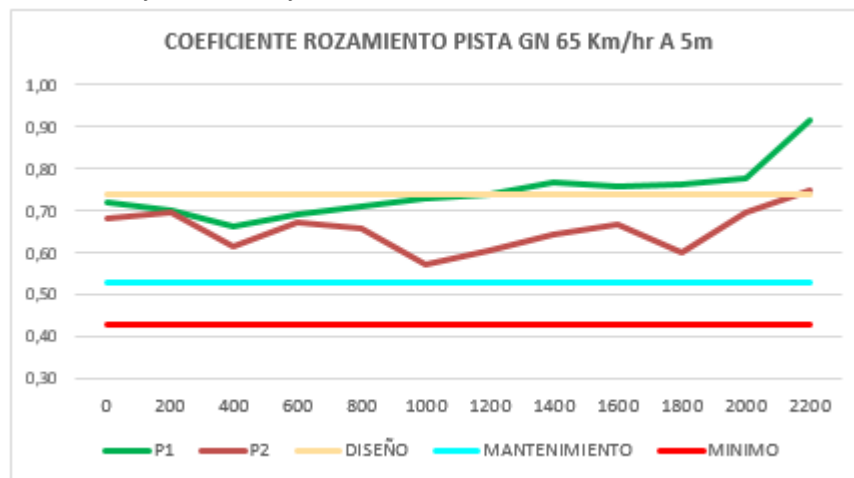
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.58: Simbología

	Superior >0,74
	Diseño <0,74
	Mantenimiento <0,53
	Mínimo <0,43

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.18: Coeficiente Roce de Pista a Velocidad de 65 Km/h



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.1.2.2 Promedio coeficiente de roce pista por tramo

Luego, los promedios de cada tercio de Pista en las dos distancias de ensayo, serán:

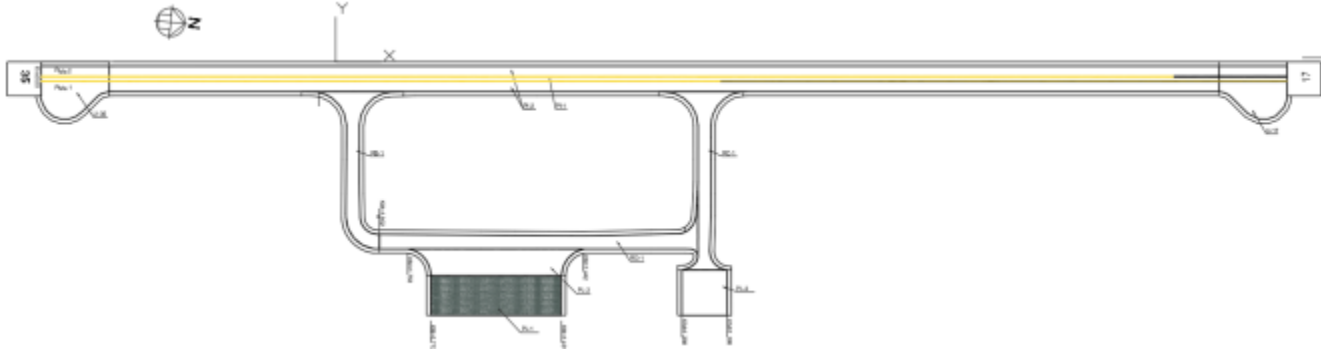
Tabla 3.59: Promedio Roce Pista por Tercio

TERCIO		GN 65 km/hr	
<i>D<sub>mi</sub></i>	<i>D<sub>f</sub></i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>
0	800	0,69	0,67
800	1600	0,74	0,62
1600	2400	0,80	0,68

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.2 Conclusiones

Figura 3.3: Esquema Zonas Evaluadas



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la prueba para evaluar la eficacia de frenado, (disponiendo de dispositivos de ensayo de rozamiento, establecido en el Anexo 14 OACI), se concluye que:

- Se observa que en todo el largo de pista a ambos lados del eje, tanto para la distancia de 3 y 5m, los coeficientes de roce se encuentran sobre el rango de mantenimiento y en algunos casos sobre el diseño.

### 3.3.3 Perfilometría

La perfilometría láser es un procedimiento basado en la medida de distancias por medio de un láser que permite registrar perfiles longitudinales y transversales de pavimentos. Las mediciones se realizan con un vehículo especializado para tal fin, que dispone de una viga extensible de referencia, en la cual están integrados los láseres. Con este tipo de equipos se pueden obtener distintos índices de regularidad superficial de firmes, así como detectar problemas relacionados con la regularidad transversal de los pavimentos.

Las mediciones de los perfiles se efectuaron en enero de 2021, con un equipo perfilométrico láser. Las mediciones fueron ejecutadas por la empresa APSA.

La información recogida mediante el Perfilómetro Láser fue analizada mediante el Software “ProFAA”, calculándose los siguientes índices:

- Regla (Straight Edge)
- Índice de la Boeing (Boeing Bump Index (BBI))
- IRI (International Roughness Index (IRI))
- Índice del Perfilógrafo de California (California type Profilograph Profile Index (PI))
- Band Pass Index

Los criterios de aceptación para cada índice son los siguientes:

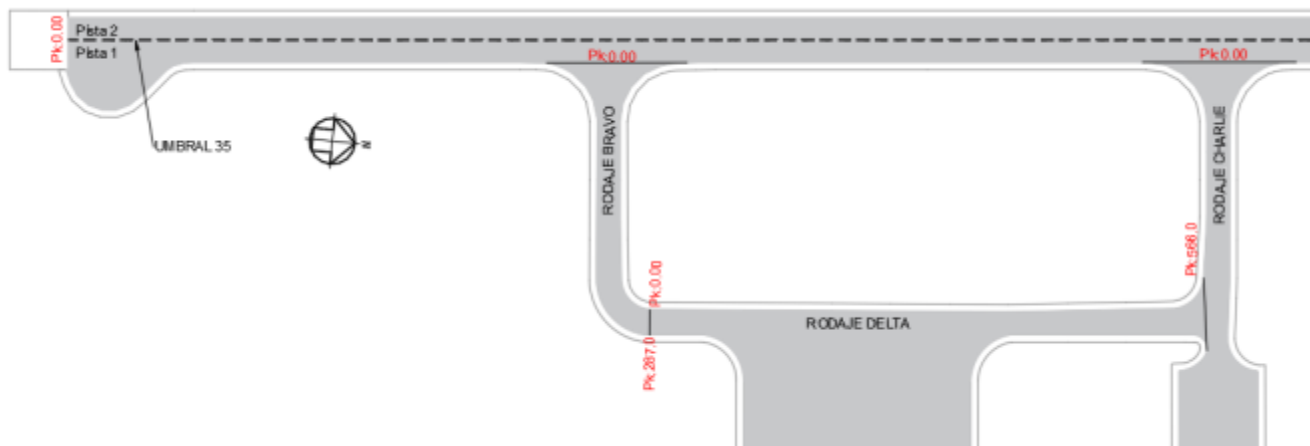
- Regla (Straight Edge): para los pavimentos nuevos de pistas de aeropuertos están contenidos en la Advisory Circular AC 150/5370-10B, “Standard For Specifying Construction of Airport. Para el control de las cotas, éstas no deben desviarse de la cota de diseño en más de 12 mm en cualquier punto de la superficie. Para la lisura, la desviación máxima desde una regla de 5 m no debe exceder de 6 mm en cualquier punto del pavimento.
- Perfilógrafo de California PI: se establece que debe ser menor a 0,11 m/Km (7 pulg/milla). (Fuente: Norma ASTM E 1274 Estándar test method for measuring pavement roughness using a profilograph y AC 150/5370-10C). Este indicador se define como la medida, en m/km, de las irregularidades superficiales del pavimento que pueden

ocasionar vibraciones excesivas en los vehículos. Se utiliza para determinar la calidad del acabado de una superficie de rodadura

- c) Índice Internacional de Rugosidad, IRI: a pesar de ser un índice asociado a la calidad de rodadura que experimenta un conductor y los pasajeros de un automóvil, la literatura asocia este indicador para aeropuertos con un valor entre cero y dos (0 y 2 m /km). (Fuente: Pavement management for airports, roads and parking lots de MY Shahin).
- d) Boeing Bump Index BBI: El método Boeing se utiliza para localizar baches o depresiones en pavimentos aeroportuarios que puedan ocasionar problemas a las aeronaves que por ellos transitan. Atendiendo a este método, los resaltos existentes en el pavimento son clasificados como aceptables, excesivos o inaceptables, en función de su longitud y altura. Se establece que los valores menores a 1 indican que el pavimento es aceptable, y valores mayores a 1 indican que el pavimento requiere reparación tan pronto sea posible. (Fuente: Runway roughness quantifications and application the boeing method Doc: Boeing commercial airplane group airport technology organization D6-81476).
- e) Band Pass: sirve para catalogar la lisura de los pavimentos y su valor debe ser inferior a 1 mm para que el pavimento cumpla las exigencias requeridas.

A continuación, se presenta un esquema con los puntos de inicio de las zonas evaluadas, tanto para pista como desahogos:

Figura 3.4: Esquema Zonas Evaluadas

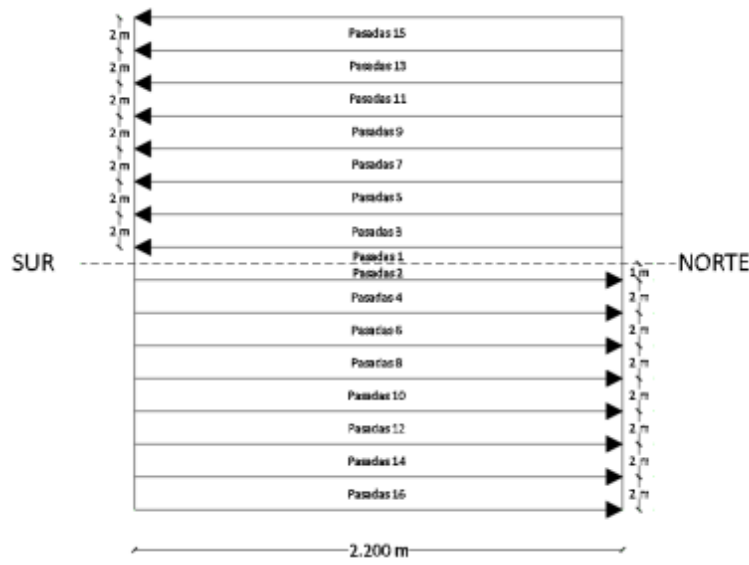


Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.1 Mediciones en pista

Las mediciones se realizaron a lo largo de la pista, realizando 16 pasadas, cada una de ellas a 2 m de distancia entre sí, siendo la primera medición a 1.m con respecto al eje en ambos lados de este, completando los 30m. Independiente del sentido de avance de la medición, todos los valores con su respectiva designación (correspondiente a pasadas pares e impares) se entregarán desde el umbral 35 al 17, esto es sur/norte en toda la longitud de pista, tal como se indica en figura siguiente.

Figura 3.5: Esquema de Avance de Pista



Fuente: Elaboración propia

De las tablas siguientes, se resaltan los valores por sobre los rangos.

3.3.3.1.1 Regla (Straight Edge)

Tabla 3.60: Índice de Regla(mm)

TRAMO		DISTANCIA ENTRE EJE CENTRAL DE PISTA Y EJE RSP EN CADA PASADA (m)															
Km Inicial	Km Final	P16	P14	P12	P10	P8	P6	P4	P2	P1	P3	P5	P7	P9	P11	P13	P15
0	100	2,5	2,9	2,4	2,9	2,3	2,3	3,0	3,1	3,1	3,3	2,7	3,4	3,0	2,8	2,8	2,9
100	200	1,8	2,2	2,0	1,9	1,6	1,5	1,5	1,7	2,1	2,4	2,0	1,9	1,9	1,8	2,0	2,1
200	300	1,9	2,7	1,9	1,9	1,9	2,2	1,8	2,1	2,6	2,8	1,9	2,5	2,3	2,1	2,3	2,1
300	400	1,5	2,1	2,1	1,9	1,7	1,9	1,6	2,0	2,0	2,1	1,7	1,9	1,7	1,7	2,2	2,6
400	500	1,8	2,1	2,0	1,7	1,6	2,0	1,6	1,9	2,3	2,1	1,9	2,2	2,1	2,1	2,5	2,6
500	600	1,8	2,0	2,3	1,9	1,6	1,9	1,5	1,9	2,1	2,1	1,7	2,0	2,2	2,1	2,2	2,4
600	700	1,6	2,2	1,8	1,9	2,0	2,4	2,0	2,5	1,9	2,5	2,3	1,9	1,8	2,1	2,4	2,4
700	800	1,8	2,2	1,9	1,9	2,0	2,6	2,1	2,6	2,6	2,8	2,9	2,3	2,3	2,1	2,4	2,0
800	900	1,8	2,2	2,1	2,0	2,2	2,7	2,0	2,1	2,9	2,9	2,6	2,1	2,4	1,7	1,9	1,6
900	1.000	2,0	2,4	2,2	2,0	1,9	2,3	2,5	2,5	2,8	2,5	2,4	2,0	2,1	1,8	2,0	1,4
1.000	1.100	1,7	2,3	2,0	2,1	2,1	1,9	2,2	2,2	2,8	2,1	2,7	2,1	2,1	1,8	1,8	2,0
1.100	1.200	2,0	2,1	2,1	2,0	1,9	2,3	2,7	2,6	2,6	2,3	2,6	2,0	1,9	2,0	1,9	1,8
1.200	1.300	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,9	2,6	2,4	2,4	2,3	2,5	1,8	1,7	1,8	1,9	1,8
1.300	1.400	1,6	1,7	1,8	1,8	2,0	2,6	2,1	1,9	2,3	2,3	2,4	2,1	1,9	2,1	2,1	2,1
1.400	1.500	1,8	1,9	2,0	2,0	2,4	2,9	2,4	2,3	2,5	2,7	2,6	2,7	2,8	2,4	2,4	1,9
1.500	1.600	1,6	2,0	1,5	1,9	2,1	2,8	1,7	2,3	2,3	2,7	2,3	1,8	1,7	2,1	2,2	2,2
1.600	1.700	1,5	1,6	1,5	2,0	1,8	2,6	2,5	2,7	2,2	2,4	2,3	1,6	1,7	2,0	1,8	1,6
1.700	1.800	1,6	1,8	2,1	1,9	1,8	1,9	1,9	2,0	2,6	2,8	2,3	1,8	1,9	2,2	1,9	1,8
1.800	1.900	1,8	1,5	1,7	1,8	1,4	1,5	1,5	1,4	2,6	2,5	1,8	1,6	1,5	1,6	1,8	2,1
1.900	2.000	1,8	1,9	1,8	1,9	1,9	2,2	2,4	2,2	2,3	2,9	1,9	1,8	1,8	2,1	1,8	2,3
2.000	2.100	2,0	1,9	1,9	2,4	2,2	2,0	2,1	1,9	2,4	2,1	2,2	2,2	1,8	1,7	1,6	2,1
2.100	2.200	2,4	2,5	2,5	2,8	2,9	2,6	2,0	2,5	2,1	2,5	2,3	2,4	2,2	2,3	2,3	2,8

Fuente: Elaboración propia



3.3.3.1.2 Índices de Boeing (Boeing Bump Index (BBI))

Tabla 3.61: Índice de Boeing

TRAMO		DISTANCIA ENTRE EJE CENTRAL DE PISTA Y EJE RSP EN CADA PASADA (m)															
Km Inicial	Km Final	P16 15	P14 13	P12 11	P10 9	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7	P9 9	P11 11	P13 13	P15 15
0	100	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3	0,1	0,4	0,2	0,6	0,3	0,3	0,2	0,2
100	200	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
200	300	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
300	400	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
400	500	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
500	600	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
600	700	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
700	800	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
800	900	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
900	1.000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1.000	1.100	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1.100	1.200	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1.200	1.300	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1.300	1.400	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1.400	1.500	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
1.500	1.600	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
1.600	1.700	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1.700	1.800	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1.800	1.900	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1.900	2.000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2.000	2.100	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2.100	2.200	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.1.3 Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index (IRI))

Tabla 3.62: Índice Internacional de Rugosidad (m/km)

TRAMO		DISTANCIA ENTRE EJE CENTRAL DE PISTA Y EJE RSP EN CADA PASADA (m)															
Km Inicial	Km Final	P16 15	P14 13	P12 11	P10 9	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7	P9 9	P11 11	P13 13	P15 15
0	100	1,4	1,8	1,4	1,7	1,2	1,4	1,7	1,7	1,7	1,9	1,5	1,9	1,8	1,6	1,7	1,5
100	200	1,1	1,3	1,3	1,1	1,0	1,0	0,9	1,1	1,5	1,6	1,2	1,2	1,1	1,0	1,3	1,4
200	300	1,2	1,8	1,2	1,1	1,2	1,5	1,1	1,2	2,0	2,0	1,2	1,8	1,4	1,4	1,5	1,5
300	400	0,9	1,5	1,5	1,2	1,3	1,7	0,9	1,2	1,5	1,7	1,2	1,7	1,3	1,2	1,5	1,9
400	500	1,1	1,5	1,3	1,2	1,3	1,7	1,0	1,3	1,6	1,6	1,1	1,5	1,5	1,3	1,6	1,6
500	600	1,2	1,4	1,5	1,2	1,3	1,5	0,9	1,3	1,4	1,5	1,2	1,3	1,4	1,3	1,7	1,4
600	700	1,0	1,6	1,2	1,3	1,5	1,8	1,3	1,7	1,2	1,8	1,5	1,3	1,1	1,3	1,6	1,5
700	800	1,0	1,6	1,3	1,2	1,5	1,8	1,3	1,7	1,6	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3	1,9	1,6
800	900	1,2	1,8	1,3	1,4	1,5	1,8	1,3	1,3	1,6	1,9	1,5	1,3	1,5	1,2	1,6	1,1
900	1.000	1,1	1,6	1,3	1,4	1,4	1,5	1,7	1,6	1,6	1,6	1,4	1,2	1,2	1,3	1,7	1,0
1.000	1.100	1,1	1,5	1,2	1,2	1,4	1,3	1,4	1,4	2,0	1,3	1,7	1,3	1,3	1,3	1,5	1,2
1.100	1.200	1,3	1,6	1,3	1,2	1,2	1,5	1,6	1,5	1,7	1,5	1,9	1,3	1,2	1,5	1,5	1,2
1.200	1.300	1,1	1,3	1,4	1,5	1,5	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	2,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,1
1.300	1.400	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,6	1,3	1,2	1,5	1,5	1,5	1,3	1,2	1,6	1,8	1,2
1.400	1.500	1,1	1,0	1,4	1,2	1,5	1,7	1,6	1,4	1,7	1,8	1,5	1,8	1,9	1,7	1,9	1,1
1.500	1.600	1,2	1,3	1,1	1,1	1,4	1,8	1,1	1,5	1,7	1,7	1,5	1,2	1,2	1,3	1,7	1,4
1.600	1.700	0,9	1,0	0,9	1,2	1,1	1,5	1,5	1,9	1,5	1,6	1,7	1,1	1,2	1,3	1,2	1,2
1.700	1.800	1,1	1,1	1,2	1,3	1,1	1,2	1,2	1,2	2,0	1,9	1,5	1,1	1,2	1,4	1,2	1,2
1.800	1.900	1,2	1,0	1,1	1,1	0,9	1,1	1,0	0,9	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2
1.900	2.000	1,1	1,3	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,3	1,6	1,9	1,3	1,2	1,1	1,3	1,1	1,4
2.000	2.100	1,2	1,1	1,3	1,5	1,4	1,2	1,3	1,1	1,6	1,3	1,4	1,6	1,2	1,2	1,0	1,4
2.100	2.200	1,4	1,5	1,5	1,7	1,6	1,6	1,1	1,3	1,4	1,5	1,3	1,5	1,2	1,3	1,3	1,6

Fuente: Elaboración propia



3.3.3.1.4 Índice de Perfilógrafo de California (California Profilograph Index (PI))

Tabla 3.63: Índice de Perfilógrafo de California (m/km)

TRAMO		DISTANCIA ENTRE EJE CENTRAL DE PISTA Y EJE RSP EN CADA PASADA (m)															
Km Inicial	Km Final	P16 15	P14 13	P12 11	P10 9	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7	P9 9	P11 11	P13 13	P15 15
0	100	0,2	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
100	200	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
200	300	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
300	400	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
400	500	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
500	600	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
600	700	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
700	800	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
800	900	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
900	1.000	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
1.000	1.100	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
1.100	1.200	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.200	1.300	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
1.300	1.400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1.400	1.500	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,0
1.500	1.600	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
1.600	1.700	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
1.700	1.800	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
1.800	1.900	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
1.900	2.000	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
2.000	2.100	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
2.100	2.200	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.1.5 RMS Bandpass Index

Tabla 3.64: Índice Band Pass (mm)

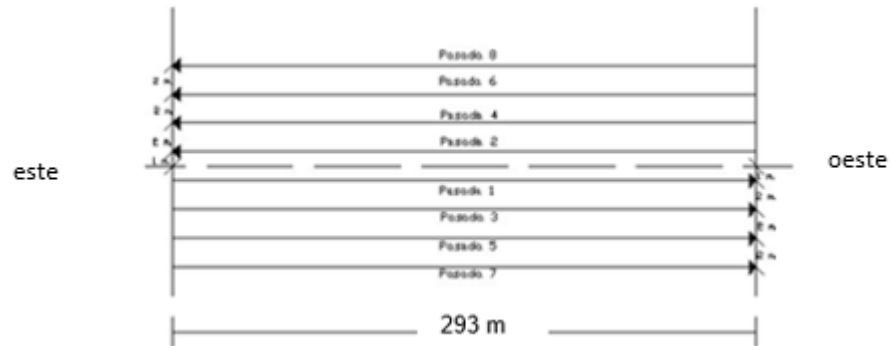
TRAMO		DISTANCIA ENTRE EJE CENTRAL DE PISTA Y EJE RSP EN CADA PASADA (m)															
Km Inicial	Km Final	P16 15	P14 13	P12 11	P10 9	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7	P9 9	P11 11	P13 13	P15 15
0	100	0,5	0,7	0,7	0,8	0,7	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,6
100	200	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4
200	300	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5
300	400	0,4	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7
400	500	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5
500	600	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
600	700	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,7	0,5	0,4	0,4	0,6	0,7	0,6
700	800	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,9	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4
800	900	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,4
900	1.000	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3
1.000	1.100	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5
1.100	1.200	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4
1.200	1.300	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3
1.300	1.400	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4
1.400	1.500	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,6	0,4
1.500	1.600	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,7	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6
1.600	1.700	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
1.700	1.800	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
1.800	1.900	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
1.900	2.000	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
2.000	2.100	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
2.100	2.200	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,5	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	1,0

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.2 Mediciones en rodaje Bravo

Para el caso de los rodajes, se realizaron 8 pasadas, cada una de ellas a 2m de distancia entre sí, siendo la primera medición a 1m con respecto al eje, completando los 14m centrales. Independiente sea el sentido de avance, los valores se entregarán en sentido de pista hasta empalme con rodaje delta, esto es oeste/este, tal como se indica en figura siguiente:

Figura 3.6: Esquema Avance rodaje Bravo



Fuente: Elaboración propia

Además, se considera un largo de 293m para Rodaje Bravo, desde borde de pista hasta empalme con Rodaje Delta.

#### 3.3.3.2.1 Regla (Straight Edge)

Tabla 3.65: Valores de Regla (mm)

TRAMO		PASADAS							
Km Inicial	Km Final	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7
0	50	2,6	2,3	2,3	2,5	2,3	2,8	2,8	2,4
50	100	1,7	1,8	2,2	1,7	1,8	2,1	2,6	1,9
100	150	2,3	1,8	1,8	1,7	1,9	2,3	2,2	1,6
150	200	2,4	2,1	2,5	2,3	2,8	2,9	2,7	2,5
200	250	2,6	3,0	3,6	4,3	2,3	3,8	2,0	2,3
250	293	2,2	2,9	3,3	3,4	2,8	3,1	1,8	2,4

Fuente: Elaboración propia

#### 3.3.3.2.2 Índice de Boeing (Boeing Bump Index (BBI))

Tabla 3.66: Índice de Boeing

TRAMO		PASADAS							
Km Inicial	Km Final	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7
0	50	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2
50	100	0,4	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1
100	150	0,3	0,5	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4
150	200	0,6	0,8	0,4	0,4	0,7	0,7	0,8	0,8
200	250	0,4	0,7	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,7
250	293	0,2	0,6	0,3	1,2	0,3	0,3	0,1	0,2

Fuente: Elaboración propia



### 3.3.3.2.3 Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index (IRI))

Tabla 3.67: Índice Internacional de Rugosidad (m/km)

TRAMO		PASADAS							
Km Inicial	Km Final	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7
0	50	1,5	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,3
50	100	1,1	1,0	1,5	1,2	1,0	1,2	1,5	1,0
100	150	1,2	0,9	1,2	1,0	0,9	1,1	1,1	0,9
150	200	1,2	1,1	1,3	1,1	1,4	1,5	1,3	1,3
200	250	1,6	1,5	1,8	2,3	1,5	2,0	1,1	1,3
250	293	1,0	1,3	1,6	1,7	1,5	1,7	1,1	1,3

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.2.4 Índice de Perfilógrafo de California (California Profilograph Index (PI))

Tabla 3.68: Índice de Perfilógrafo de California (m/km)

TRAMO		PASADAS							
Km Inicial	Km Final	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7
0	50	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
50	100	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
100	150	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,2	0,2
150	200	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2
200	250	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2
250	293	0,1	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	0,3	0,0

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.2.5 RMS Bandpass Index

Tabla 3.69: Índice Band Pass (mm)

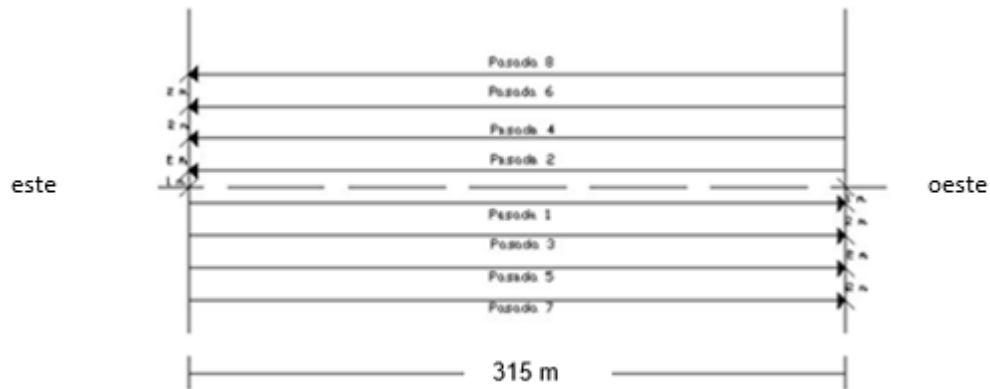
TRAMO		PASADAS							
Km Inicial	Km Final	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7
0	50	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6	0,8	0,6
50	100	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,6	0,7	0,4
100	150	0,5	0,4	0,5	0,3	0,6	0,7	0,6	0,3
150	200	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,7	0,4	0,5
200	250	0,6	0,6	0,9	1,2	0,6	1,0	0,6	0,6
250	293	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,5	0,5

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.3 Mediciones en Rodaje Charlie

En Charlie se realizaron 8 pasadas a cada lado del eje separadas cada 2 metros, excepto la 1ra realizada a un metro del eje completando así los 14m centrales aprox. Las pasadas se hicieron de pista a plataforma.

Figura 3.7: Esquema Avance rodaje Charlie



Fuente: Elaboración propia

Además, se considera un largo de 315 m para Rodaje Charlie, desde borde de pista hasta empalme con Plataforma de aviación general.

### 3.3.3.3.1 Regla (Straight Edge)

Tabla 3.70: Valores de Regla (mm)

TRAMO		PASADAS							
Km Inicial	Km Final	P8	P6	P4	P2	P1	P3	P5	P7
0	50	2,6	4,2	3,9	3,5	4,2	5,7	4,7	5,8
50	100	2,8	3,0	2,6	2,7	2,2	2,4	3,5	2,5
100	150	2,6	2,1	2,1	2,2	2,1	1,9	2,4	1,9
150	200	2,3	1,8	2,9	2,1	1,9	1,9	1,8	1,7
200	250	5,5	4,7	4,4	3,4	3,2	2,8	3,0	2,2
250	300	5,9	4,6	5,4	5,6	3,9	3,6	3,7	3,0
300	315	2,7	2,6	3,3	2,7	3,6	3,8	3,5	3,2

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.3.2 Índice de Boeing (Boeing Bump Index (BBI))

Tabla 3.71: Índice de Boeing

TRAMO		PASADAS							
Km Inicial	Km Final	P8	P6	P4	P2	P1	P3	P5	P7
0	50	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4
50	100	1,1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,2	0,5	0,3
100	150	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
150	200	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
200	250	1,1	1,0	0,8	0,6	0,3	0,3	0,3	0,2
250	300	0,7	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4
300	315	0,4	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.3.3 Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index (IRI))

Tabla 3.72: Índice Internacional de Rugosidad (m/km)

TRAMO		PASADAS							
Km Inicial	Km Final	P8	P6	P4	P2	P1	P3	P5	P7
0	50	1,8	2,4	2,6	1,8	2,6	3,3	3,2	3,7
50	100	1,6	1,8	1,8	1,6	1,5	1,5	1,9	1,5
100	150	1,4	1,2	1,2	1,3	1,5	1,1	1,5	1,1

TRAMO		PASADAS								
Km Inicial	Km Final	P8	P6	P4	P2	P1	P3	P5	P7	
150	200	1,2	1,0	1,6	1,1	1,2	1,0	1,1	1,1	
200	250	2,7	2,3	2,6	2,0	2,3	2,0	1,9	1,3	
250	300	4,0	3,1	3,5	3,3	2,4	1,8	2,0	1,9	
300	315	1,6	1,6	1,7	1,6	2,3	1,9	2,0	2,1	

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.3.4 Índice de Perfilógrafo de California (California Profilograph Index (PI))

Tabla 3.73: Índice de Perfilógrafo de California (m/km)

TRAMO		PASADAS								
Km Inicial	Km Final	P8	P6	P4	P2	P1	P3	P5	P7	
0	100	0,5	0,6	0,6	0,4	0,6	0,9	1,0	1,2	
100	200	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	
200	300	0,9	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	
300	315	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.3.5 RMS Bandpass Index

Tabla 3.74: Índice Band Pass (mm)

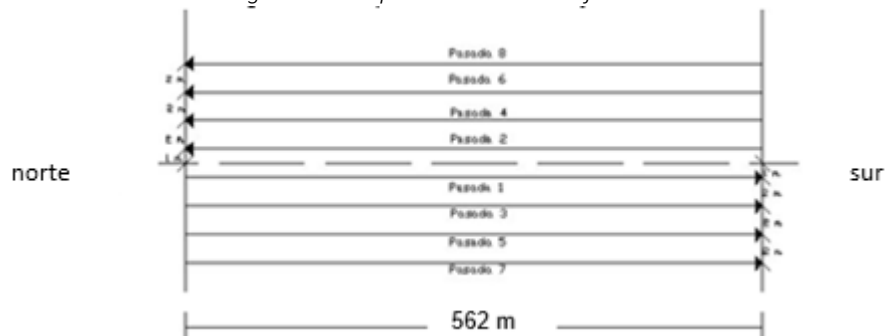
TRAMO		PASADAS								
Km Inicial	Km Final	P8	P6	P4	P2	P1	P3	P5	P7	
0	50	0,3	0,9	0,8	1,2	0,9	1,5	1,4	1,3	
50	100	0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	
100	150	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	
150	200	0,5	0,3	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	
200	250	2,0	1,1	1,3	1,1	0,6	0,6	0,7	0,6	
250	300	1,3	1,3	1,2	1,5	1,0	1,0	1,1	0,7	
300	315	0,7	0,8	0,7	0,5	0,6	0,8	0,6	0,6	

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.4 Mediciones en rodaje Delta

En Delta se realizaron 8 pasadas a cada lado del eje separadas cada 2 metros, excepto la 1ra realizada a un metro del eje completando así los 14m centrales aprox. Las pasadas se hicieron de pista hasta empalme rodaje Charlie

Figura 3.8: Esquema Avance rodaje Delta



Fuente: Elaboración propia

Además, se considera un largo de 562m para Rodaje Delta, desde empalme con Rodaje Bravo hasta empalme con Rodaje Charlie.



### 3.3.3.4.1 Regla (Straight Edge)

Tabla 3.75: Valores de Regla (mm)

TRAMO		PASADAS							
Km Inicial	Km Final	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7
0	50	2,9	2,2	3,3	2,8	2,3	2,7	3,9	2,4
50	100	2,4	2,6	3,6	2,8	2,4	2,8	3,6	2,6
100	150	2,5	2,9	3,3	2,7	2,0	2,7	3,2	1,9
150	200	3,2	2,9	3,0	3,2	3,5	3,4	3,6	1,9
200	250	2,2	2,1	2,7	3,1	2,3	2,1	2,8	2,6
250	300	2,6	2,5	3,8	2,8	2,5	2,7	3,4	1,6
300	350	2,2	2,5	3,1	2,5	2,3	2,4	2,7	2,2
350	400	2,3	2,0	3,3	2,7	2,4	2,7	2,7	2,0
400	450	1,9	1,9	3,5	2,9	2,5	2,8	4,1	1,7
450	500	1,8	1,8	3,1	2,0	2,3	3,6	4,9	2,1
500	550	1,5	1,6	3,1	2,3	4,3	3,6	3,1	2,5
550	562	3,4	2,9	4,0	2,7	3,8	3,2	3,1	4,2

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.4.2 Índice de Boeing (Boeing Bump Index (BBI))

Tabla 3.76: Índice de Boeing

TRAMO		PASADAS							
Km Inicial	Km Final	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7
0	50	0,4	0,3	0,4	0,7	0,4	0,3	0,3	0,2
50	100	0,4	0,4	0,6	0,4	0,5	0,4	0,6	0,3
100	150	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6
150	200	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
200	250	0,4	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,5	0,3
250	300	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,3
300	350	1,0	0,9	1,0	0,9	0,8	0,6	0,6	0,5
350	400	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,6
400	450	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3
450	500	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
500	550	0,5	0,5	0,6	0,2	0,5	0,4	0,5	0,2
550	562	0,6	0,4	0,6	0,2	0,4	0,6	0,4	0,7

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.4.3 Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index (IRI))

Tabla 3.77: Índice Internacional de Rugosidad (m/km)

TRAMO		PASADAS							
Km Inicial	Km Final	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7
0	50	2,0	1,5	1,7	1,5	1,2	1,4	1,8	1,3
50	100	1,2	1,3	2,6	1,8	1,3	1,5	2,0	1,4
100	150	1,4	1,6	1,8	1,5	1,2	1,6	1,5	1,4
150	200	2,1	2,1	2,0	1,7	2,2	1,8	2,1	1,0
200	250	1,4	1,5	1,7	1,8	1,6	1,5	1,9	1,6
250	300	1,4	1,5	2,5	1,7	1,5	1,6	1,9	1,0
300	350	1,2	1,4	2,0	1,4	1,5	1,4	1,7	1,2
350	400	1,4	1,1	2,2	1,6	1,4	1,6	1,7	1,3
400	450	1,1	1,2	2,4	2,0	1,7	1,8	2,5	1,1
450	500	0,9	1,1	1,9	1,3	1,5	2,0	2,9	1,2
500	550	0,9	0,9	1,7	1,2	2,4	2,0	1,8	1,7
550	562	2,2	2,2	2,4	1,4	2,5	2,0	1,6	2,1

Fuente: Elaboración propia



### 3.3.3.4.4 Índice de Perfilógrafo de California (California Profilograph Index (PI))

Tabla 3.78: Índice de Perfilógrafo de California (m/km)

TRAMO		PASADAS								
Km Inicial	Km Final	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7	
0	100	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	
100	200	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	
200	300	0,1	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	0,3	0,0	
300	400	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	
400	500	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3	0,6	0,1	
500	562	0,4	0,4	0,6	0,2	0,5	0,4	0,3	0,7	

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.4.5 RMS Bandpass Index

Tabla 3.79: Índice Band Pass (mm)

TRAMO		PASADAS								
Km Inicial	Km Final	P8 7	P6 5	P4 3	P2 1	P1 1	P3 3	P5 5	P7 7	
0	50	0,7	0,4	0,8	0,7	0,6	0,5	0,9	0,5	
50	100	0,5	0,6	0,9	0,5	0,4	0,7	1,1	0,5	
100	150	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,4	
150	200	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,4	
200	250	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,5	
250	300	0,6	0,6	1,1	0,8	0,5	0,6	0,8	0,4	
300	350	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	
350	400	0,4	0,4	1,0	0,6	0,7	0,8	0,8	0,3	
400	450	0,4	0,4	0,7	0,7	0,5	0,8	1,2	0,4	
450	500	0,4	0,4	0,9	0,6	0,6	1,1	1,4	0,4	
500	550	0,3	0,4	1,0	0,6	1,3	1,0	0,8	0,6	
550	562	0,7	0,7	0,5	0,9	1,2	0,8	0,6	1,0	

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.5 Conclusiones

De acuerdo a las mediciones obtenidas, se concluye lo siguiente:

Tabla 3.80: Conclusiones

MEDICIONES	ÍNDICES	CONCLUSIONES CUANTITATIVAS
PISTA	Regla	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se observa que el 100% de los valores se encuentran por debajo del valor admisible (6mm).</li> <li>El mínimo valor obtenido es 1,4 mm y el máximo 3,4 mm.</li> <li>Las zonas de pavimento más solicitadas son aquellas por las que pasen las ruedas de las aeronaves, situadas a 5m del eje de pista. Esta zona corresponde a las pasadas P4, P6 y P3, P5; se obtienen los siguientes promedios de regla: 2,2 mm derecha y 2,4 mm hacia la izquierda, respectivamente.</li> <li>El promedio de todos los valores obtenidos, corresponde a 2,1 mm.</li> </ul>
	De Boeing	<ul style="list-style-type: none"> <li>El 100% de los valores, se encuentra por debajo del límite establecido (menor a 1).</li> <li>De los valores obtenidos, se observa un mínimo de 0,1 y un máximo de 0,6</li> <li>Para las pasadas P4, P6 Y P3, P5, se tienen promedios de 0,1 en ambas zonas. Además de presentar valor simétricos entre pasadas.</li> </ul>
	De Rugosidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se observa que el 99% de los valores obtenidos, se encuentran por debajo del límite establecido (IRI &lt; 2 m/km) y el 1% de los valores que se encuentran por sobre, están en el límite de lo permitido, con un valor de 2 m/km.</li> <li>El mínimo valor obtenido corresponde a 0,9 m/km y para el máximo de 2,0 m/km</li> <li>Para las pasadas P4, P6 y P3, P5 y se tienen promedios de 1,4 m/km y 1,6 m/km, respectivamente.</li> <li>Se tiene que el promedio total de los datos obtenidos, corresponde a 1,4 m/km</li> </ul>
	De Perfilógrafo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Un 32% de los valores obtenidos se encuentra por fuera del límite permitido (menos a 0,11 m/km).</li> <li>Para los valor máximo y mínimo se tiene 0,6 m/km y 0 m/km, respectivamente.</li> <li>Para las pasadas P4, P6 y P3, P5, se han obtenido valores medios de 0,1 m/km para cada zona, resultados al límite de lo permitido.</li> </ul>
	Rms Bandpass	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se observa que un 100% de los valores obtenidos se encuentran por debajo del valor permitido (menor a 1mm),</li> </ul>



MEDICIONES	ÍNDICES	CONCLUSIONES CUANTITATIVAS
		<ul style="list-style-type: none"> <li>con un promedio de 0,5 mm.</li> <li>Para las pasadas P4, P6 y P3, P5 se han obtenido promedios de 0,5 y 0,6 mm respectivamente, valores que en general, son simétricos entre pasadas.</li> <li>El mínimo valor obtenido es 0,3 mm y el máximo 1,0 mm.</li> </ul>
	<b>CONCLUSIONES CUALITATIVAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se encuentran muy por debajo del nivel extremo, indicando que no existen depresiones en el pavimento, manteniendo las operaciones aéreas seguras. Esto se observa en Índice de Regla</li> <li>De igual se observa un Índice de Boeing muy aceptable, indicando que mantiene las operaciones aéreas seguras.</li> <li>Se observa que los índices de rugosidad (IRI) se encuentran muy por debajo de la máxima permitida, mostrando un pavimento a nivel de macrotextura regular, lo que reduce y aporta una acción de frenado óptima.</li> <li>Para el del índice de California, que supera el máximo permitido, se observa un acabado superficial que presenta irregularidades que podrían generar vibraciones en las aeronaves. Podría considerarse un riego asfáltico como mantenimiento rutinario.</li> <li>Para el caso del índice Band pass, se observa que se encuentra con rangos por debajo de la máxima permitida, indicando que el pavimento presenta condiciones favorables para la percepción del usuario y sin dificultades para la aeronave.</li> </ul>
<b>RODAJE BRAVO</b>	Regla	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se observa que el 100% de los valores se encuentran por debajo del valor admisible (6mm). De estos valores, se tiene un promedio de 2,4 mm.</li> <li>El valor mínimo obtenido es 1,6mm y el máximo 4,3mm.</li> </ul>
	De Boeing	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solo un 2% de los valores se encuentra sobre el límite establecido (menor a 1).</li> <li>De los valores obtenidos, se observa un mínimo de 0,1 y un máximo de 1,2.</li> <li>El promedio del 98% de los datos permitidos, corresponde a 0,4.</li> <li>El valor inadmisibles, se encuentra en el tramo de empalme con Rodaje Delta, en el km 250-293, pasada izquierda central.</li> </ul>
	De Rugosidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solo un 2% de los valores se encuentra sobre el límite establecido (IRI &lt; 2 m/km).</li> <li>De los valores obtenidos, se observa un mínimo de 0,9 y un máximo de 2,3</li> <li>El promedio del 98% de los datos permitidos, corresponde a 1,3</li> <li>El valor inadmisibles, se encuentra en el tramo correspondiente al km 200-250, pasada izquierda central.</li> </ul>
	De Perfilógrafo	<ul style="list-style-type: none"> <li>El 79% de los valores obtenidos, se encuentra por fuera del límite permitido (menos a 0,11 m/km). En promedio corresponde a 0,2 m/km.</li> <li>Para los valores máximos y mínimos se tiene 0,5 y 0 m/km respectivamente.</li> </ul>
	Rms Bandpass	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se observa que el 98% de los valores obtenidos es menor al máximo admisible (menor a 1mm), con un promedio de 0,6 mm.</li> <li>Se observa un mínimo de 0,3mm y un máximo de 1,2mm</li> </ul>
	<b>CONCLUSIONES CUALITATIVAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se encuentran muy por debajo del nivel extremo, indicando que no existen depresiones en el pavimento, manteniendo las operaciones aéreas seguras. Esto se observa en Índice de Regla</li> <li>De igual se observa un Índice de Boeing muy aceptable, indicando que mantiene las operaciones aéreas seguras.</li> <li>Se observa que los índices de rugosidad (IRI) se encuentran muy por debajo de la máxima permitida, mostrando un pavimento a nivel de macrotextura regular, lo que reduce y aporta una acción de frenado óptima.</li> <li>Para el del índice de California, que supera el máximo permitido, se observa un acabado superficial que presenta irregularidades que podrían generar vibraciones en las aeronaves. Podría considerarse un riego asfáltico como mantenimiento rutinario.</li> <li>Para el caso del índice Band pass, se observa que se encuentra con rangos por debajo de la máxima permitida, indicando que el pavimento presenta condiciones favorables para la percepción del usuario y sin dificultades para la aeronave.</li> </ul>
<b>RODAJE CHARLIE</b>	Regla	<ul style="list-style-type: none"> <li>El 100% de los valores se encuentra por debajo del máximo admisible (6mm). De estos valores se tiene un promedio de 3,2mm.</li> <li>El valor mínimo obtenido es 1,7 mm y el máximo 5,9 mm.</li> </ul>
	De Boeing	<ul style="list-style-type: none"> <li>El 95% de los valores, se encuentra por debajo del límite establecido (menor a 1), con un promedio de 0,5.</li> <li>De los valores obtenidos, se observa un mínimo de 0,2 y un máximo de 1,1</li> </ul>
	De Rugosidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se observa que el 64% de los valores obtenidos, se encuentran por debajo del límite permitido (IRI &lt; 2 m/km), con un promedio de 1,6 m/km.</li> <li>El mínimo valor obtenido corresponde a 1,0 m/km y para el máximo de 4,0 m/km</li> </ul>
	De Perfilógrafo	<ul style="list-style-type: none"> <li>El 81% de los valores obtenidos, se encuentra fuera del límite permitido (menos a 0,11 m/km). El promedio corresponde a 0,4 m/km.</li> <li>Para los valores máximos y mínimos se tiene 1,2 y 0 m/km respectivamente.</li> </ul>
	Rms Bandpass	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se observa que el 25% de los valores obtenidos, sobrepasan el límite permitido (menor a 1mm), con un promedio de 0,7 mm.</li> <li>Se observa un mínimo de 0,3 mm y un máximo de 2,0 mm</li> </ul>
	<b>CONCLUSIONES CUALITATIVAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se encuentran muy por debajo del nivel extremo, indicando que no existen depresiones en el pavimento, manteniendo las operaciones aéreas seguras. Esto se observa en Índice de Regla</li> <li>De igual se observa un Índice de Boeing muy aceptable, indicando que mantiene las operaciones aéreas seguras.</li> <li>Se observa que los índices de rugosidad (IRI) se encuentran muy por debajo de la máxima permitida, mostrando un pavimento a nivel de macrotextura regular, lo que reduce y aporta una acción de frenado óptima.</li> </ul>

MEDICIONES	ÍNDICES	CONCLUSIONES CUANTITATIVAS
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Para el del índice de California, que supera el máximo permitido, se observa un acabado superficial que presenta irregularidades que podrían generar vibraciones en las aeronaves. Podría considerarse un riego asfáltico como mantenimiento rutinario.</li> <li>Para el caso del índice Band pass, se observa que se encuentra con rangos por debajo de la máxima permitida, indicando que el pavimento presenta condiciones favorables para la percepción del usuario y sin dificultades para la aeronave.</li> </ul>
RODAJE DELTA	Regla	<ul style="list-style-type: none"> <li>El 100% de los valores se encuentra por debajo del máximo admisible (6mm). De estos valores se tiene un promedio de 2,8 mm.</li> <li>El valor mínimo obtenido es 1,5 mm y el máximo 4,9 mm.</li> </ul>
	De Boeing	<ul style="list-style-type: none"> <li>El 100% de los valores se encuentra por debajo del límite establecido (menor a 1), con un promedio de 0,4.</li> <li>De los valores obtenidos, se observa un mínimo de 0,2 y un máximo de 1,0</li> </ul>
	De Rugosidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se observa que el 78% de los valores obtenidos, se encuentran por debajo del límite permitido (IRI &lt; 2 m/km), con un promedio de 1,7 m/km.</li> <li>El valor mínimo obtenido corresponde a 0,9 m/km y para el máximo de 2,9 m/km</li> </ul>
	De Perfilógrafo	<ul style="list-style-type: none"> <li>El 83% de los valores obtenidos, se encuentra fuera del límite permitido (menos a 0,11 m/km). El promedio corresponde a 0,3 m/km.</li> <li>Para los valores máximos y mínimos se tiene 0,7 y 0 m/km respectivamente.</li> </ul>
	Rms Bandpass	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se observa que el 7% de los valores obtenidos, sobrepasan el límite permitido (menor a 1mm), con un promedio de 0,7 mm.</li> <li>Se observa un mínimo de 0,3 mm y un máximo de 1,4 mm</li> </ul>
CONCLUSIONES CUALITATIVAS		<ul style="list-style-type: none"> <li>Se encuentran muy por debajo del nivel extremo, indicando que no existen depresiones en el pavimento, manteniendo las operaciones aéreas seguras. Esto se observa en Índice de Regla</li> <li>De igual se observa un Índice de Boeing muy aceptable, indicando que mantiene las operaciones aéreas seguras.</li> <li>Se observa que los índices de rugosidad (IRI) se encuentran muy por debajo de la máxima permitida, mostrando un pavimento a nivel de macrotextura regular, lo que reduce y aporta una acción de frenado óptima.</li> <li>Para el del índice de California, que supera el máximo permitido, se observa un acabado superficial que presenta irregularidades que podrían generar vibraciones en las aeronaves. Podría considerarse un riego asfáltico como mantenimiento rutinario.</li> <li>Para el caso del índice Band pass, se observa que se encuentra con rangos por debajo de la máxima permitida, indicando que el pavimento presenta condiciones favorables para la percepción del usuario y sin dificultades para la aeronave.</li> </ul>

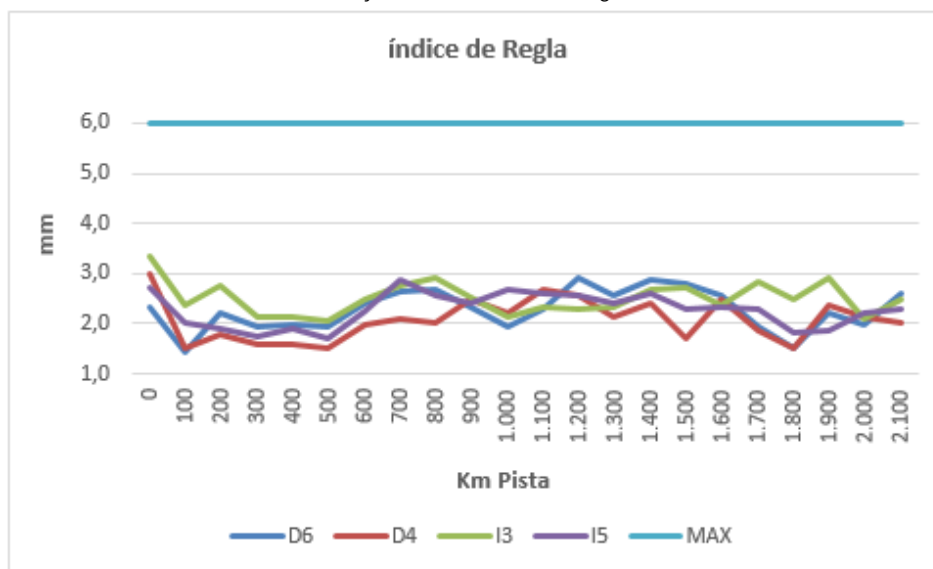
Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4 Anexo

#### 3.3.4.1 Gráficos

##### 3.3.4.1.1 Índice de Regla

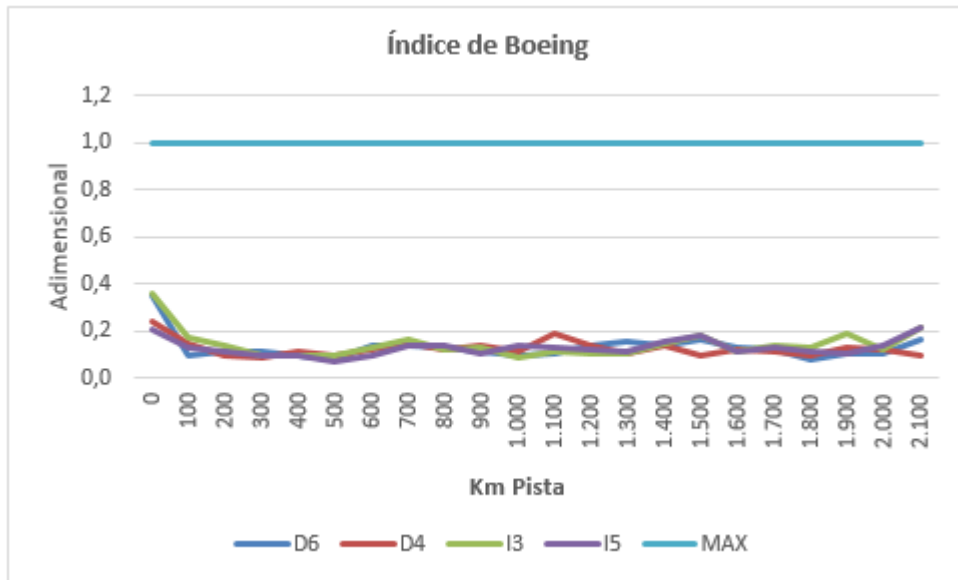
Gráfico 3.19: Índice de Regla



Fuente: Elaboración Propia

3.3.4.1.2 Índice de Boeing

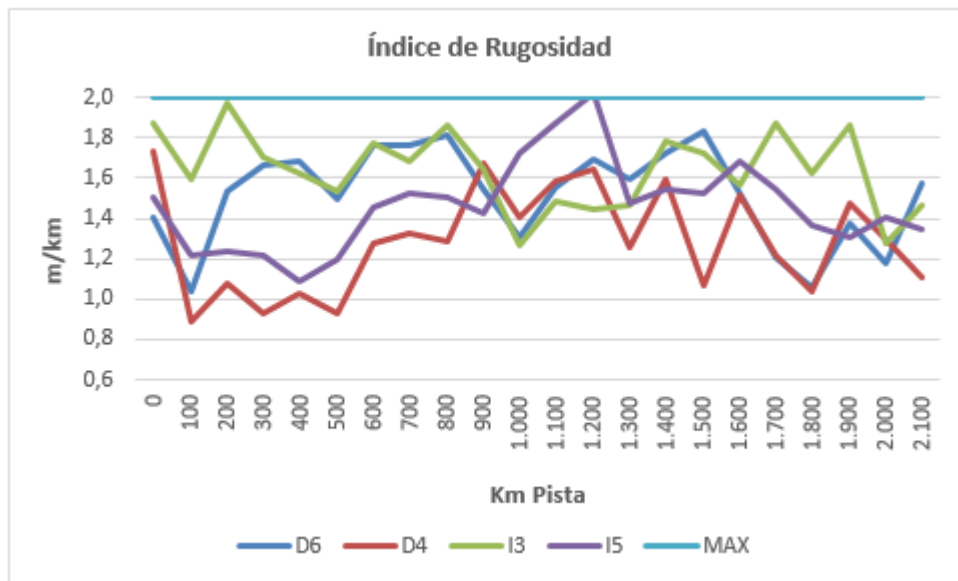
Gráfico 3.20: Índice de Boeing



Fuente: Elaboración Propia

3.3.4.1.3 Índice de Rugosidad

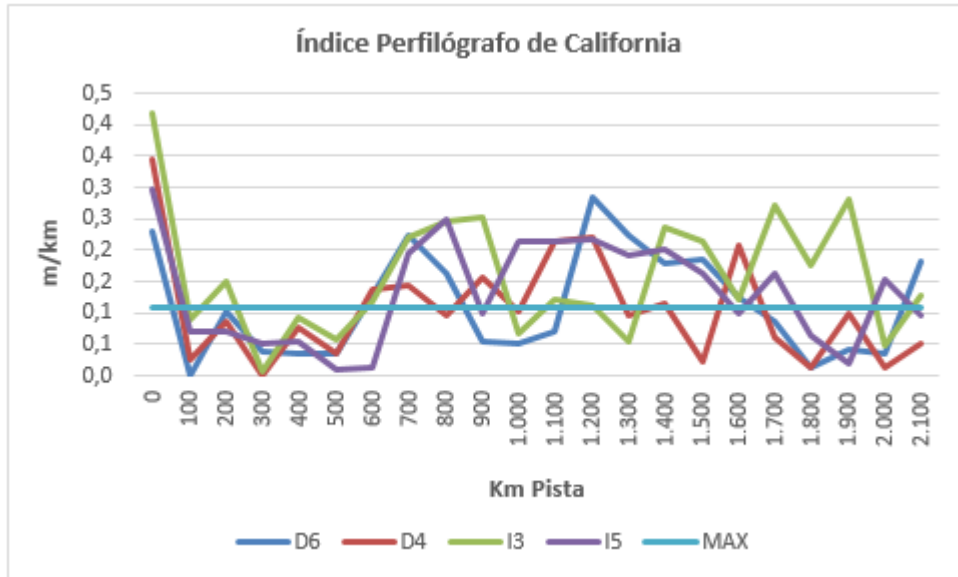
Gráfico 3.21: Índice de Rugosidad



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.4.1.4 Índice Perfilógrafo de California

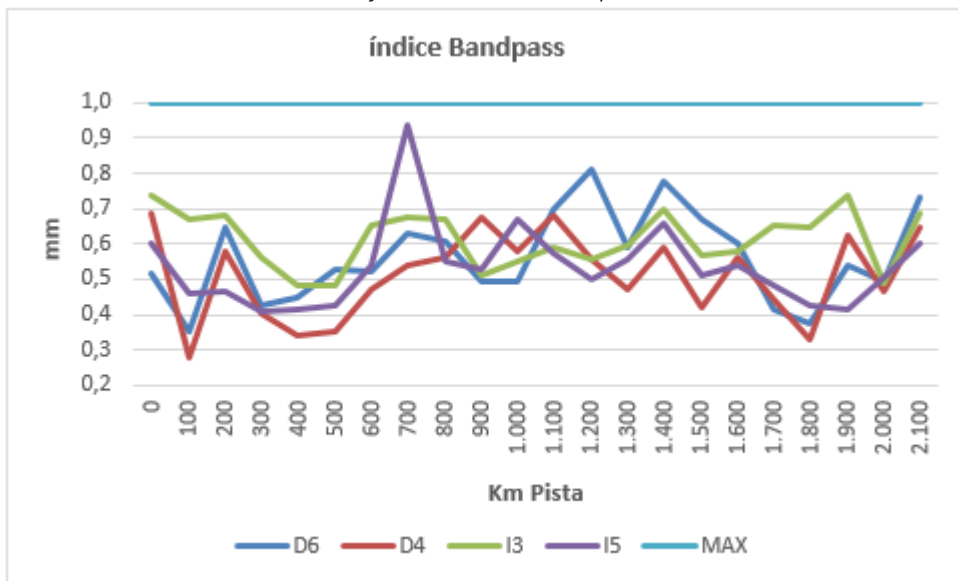
Gráfico 3.22: Índice Perfilógrafo de California



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.4.1.5 Índice Bandpass

Gráfico 3.23: Índice Bandpass



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.4.2 Plantas esquemáticas

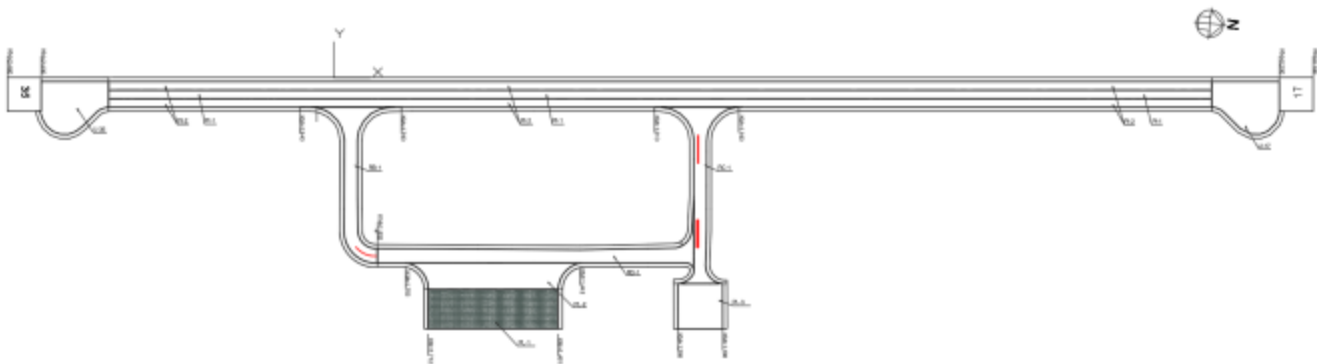
A continuación, se presenta en forma esquemática, visto en planta, los valores de los índices de Perfilometría.

Los achurados (rojo) muestran las zonas correspondientes a las pasadas con valores por sobre los rangos permitidos, de acuerdo a cada índice.

Para este aeropuerto, los índices de Regla, tanto para pista como para rodajes, no superaron los parámetros límites, por lo que no será incluido en el esquema, ya que no se reflejan en los colores.

#### 3.3.4.2.1 Índice de Boeing (Boeing Bump Index (BBI))

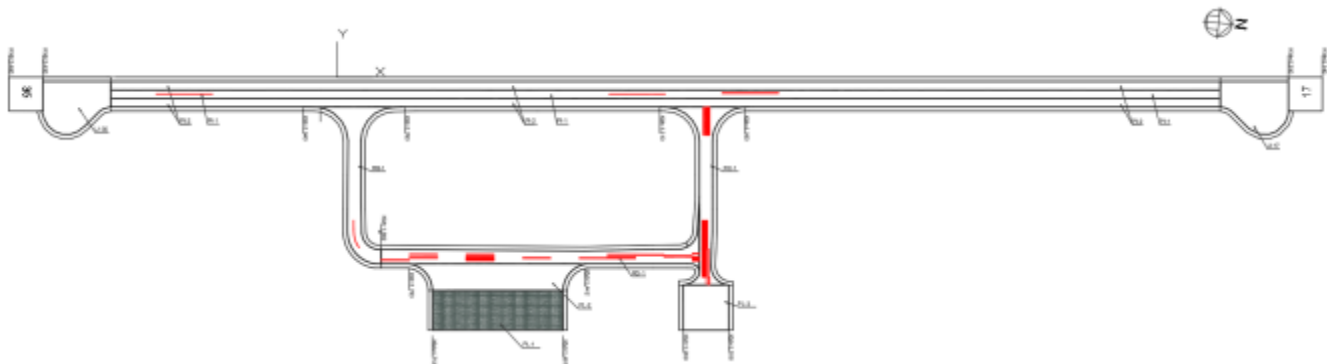
Figura 3.9: Índice de Boeing



Fuente: Elaboración Propia

#### 3.3.4.2.2 Índice Internacional de Rugosidad

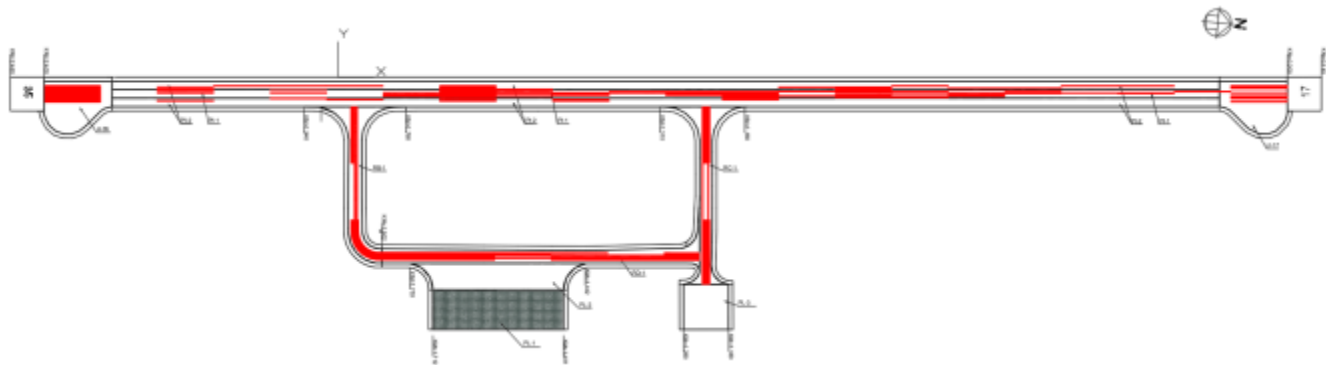
Figura 3.10: Índice Internacional de Rugosidad



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.4.2.3 Índice de Perfilógrafo de California

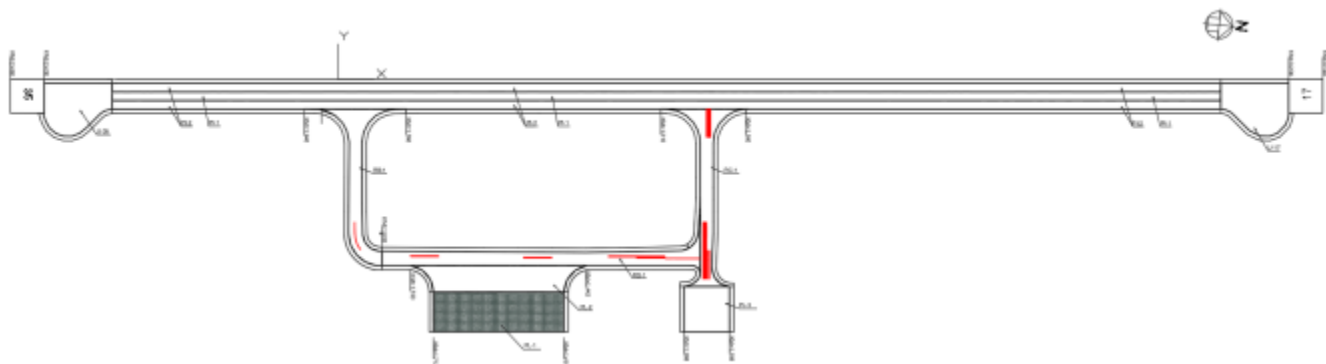
Figura 3.11: Índice de Perfilógrafo de California



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.4.2.4 RMS Bandpass Index

Figura 3.12: RMS Bandpass Index



Fuente: Elaboración Propia

## 3.4 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS EXISTENTES

### 3.4.1 Introducción

A continuación, se presenta la Sub Etapa 3.4, donde se analizan las características estructurales del Aeropuerto Desierto de Atacama ubicado en Copiapó, en base a ensayos de Deflectometría y Georradar, y posteriormente determinar la vida útil residual para cada sección característica considerando proyección de operaciones en un horizonte de 20 años.

### 3.4.2 Descripción Área De Movimiento

Con el fin de contener un capítulo autosuficiente, se indicarán las características principales de las zonas del aeropuerto, aunque estas ya hayan sido mencionadas en ítems anteriores.

El aeropuerto cuenta con:

- Pista Principal, denominada 17-35, tiene una orientación Norte Sur con una longitud pavimentada de 2.400m y un ancho de 45m. Se construyó en su totalidad con pavimento asfáltico.
- Plataforma de estacionamiento de aviación comercial; de hormigón. tiene unas dimensiones aprox. de 70m de ancho por 230m de largo, a lo que se añade un ancho de pavimento asfáltico que une dicha zona de hormigón con el rodaje Delta, las dimensiones de esta zona son de 63m de ancho por 230m de largo.
- Plataforma de aviación general; 100% de asfalto, mide 80m de ancho por 80m de largo.

- Calle de Rodaje Bravo, perpendicular a la Pista, conecta con el rodaje Delta que es paralelo a la plataforma de estacionamiento y la pista, tiene unas dimensiones de 275m de largo por 23m de ancho y está compuesta en toda su extensión por pavimento asfáltico.
- Calle de Rodaje Charlie; también de asfalto, es perpendicular a la Pista, tiene unas dimensiones de 310m de largo por 23m de ancho. Conecta con la plataforma de aviación general y con el rodaje Delta.
- Por último, el rodaje Delta; de asfalto, conecta los rodajes Charlie y Bravo de forma perpendicular, siendo este paralelo a la pista. Sus dimensiones son 562m de largo por 23m de ancho.
- El aeropuerto posee márgenes de pavimento asfáltico, tanto en la pista como en rodajes y plataforma.

Luego, según la información recopilada de los trabajos desarrollados en el aeropuerto desde el último estudio *Actualización de la Información de la Infraestructura Aeroportuaria Red Primaria-2014*, resumen que se encuentra contenido en la Etapa 2.1 y contrastando dicho resumen con la información recabada en terreno, se llega a determinar la subdivisión de las actuales secciones características.

Tabla 3.81: Secciones Características

UBICACIÓN	SECCIÓN	TIPO DE PAVIMENTO	DIMENSIONES (m)		SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	AÑO CONSTRUCCI.	ESPESOR (cm)			
			LARGO	ANCHO			A	H	B	SB
Pista	PI-1	Flexible	1.960	15	29.400	2004	10		20	20
	PI-2	Flexible	1.960	30	58.800	2004	10		20	20
	U17-1 (N)	Flexible	120	93	9.052	2004	10		20	20
	U35-1 (S)	Flexible	120	93	9.070	2004	10		20	20
Rod. Bravo	RB-1	Flexible	290	23	8.644	2004	10		20	20
Rod. Charlie	RC-1	Flexible	314	23	9.100	2004	10		20	20
Rod. Delta	RD-1	Flexible	562	23	14.290	2004	10		20	20
Plataforma Comercial	PL-1	Rígido	231	70	16.170	2004		33		15
	PL-2	Flexible	255	48	11.772	2004	10		20	20
Plat. General	PL-3	Flexible	80	80	6.400	2004	5		10	20

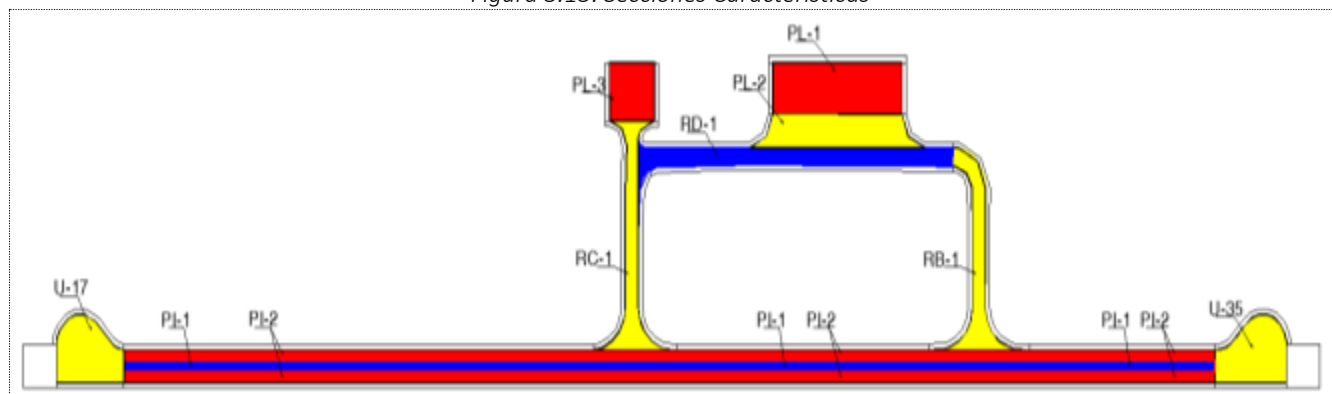
Fuente: Elaboración Propia

Donde:

- A: Asfalto
- H: Hormigón
- B: Base
- SB: Subbase

A continuación, se presenta una figura esquemática de las secciones que componen el aeropuerto.

Figura 3.13: Secciones Características



Fuente: AZN20-Desierto de Atacama

### 3.4.3 Deflectometría De Impacto

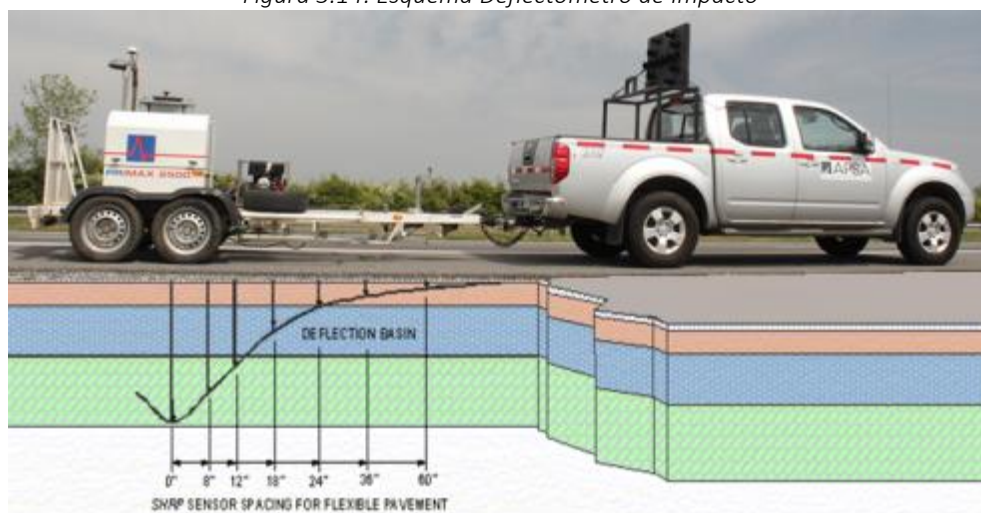
#### 3.4.3.1 Metodología

##### 3.4.3.1.1 *Equipo*

Las deflexiones se han usado durante mucho tiempo para evaluar; in situ, tanto la capacidad de soporte del suelo de fundación como la capacidad estructural del pavimento. Se puede usar para retrocalcular el módulo elástico de cada una de las capas que componen la estructura, evaluar la eficiencia de la transferencia de cargas de las juntas y grietas de un pavimento de hormigón. La deflectometría de impacto ha probado ser una excelente herramienta para evaluar en forma no destructiva y sin alteraciones tanto la capacidad estructural del pavimento como la capacidad de soporte del suelo de fundación por medio de los módulos elásticos, consiguiendo valores de alta confiabilidad.

El Deflectómetro de Impacto es un equipo que aplica una carga de impacto a la superficie del pavimento, determinando las deflexiones verticales (cuenco de deflexiones) producidas en él. Se trata de un ensayo no destructivo, que simula el comportamiento del pavimento ante el paso de aeronaves. A través del análisis de este cuenco se obtiene información de la rigidez de la estructura de pavimentos y su suelo de fundación, siendo ella muy importante para definir la condición de la estructura a lo largo de un proyecto. Lo anterior es fundamental para evaluar actividades relacionadas con la rehabilitación, mantenimiento y/o control de calidad.

*Figura 3.14: Esquema Deflectómetro de Impacto*



Para las evaluaciones en campo se cuenta con un odómetro de alta precisión que controla la distancia desde el punto de origen, dada la existencia de hitos kilométricos existentes en el área de movimiento, hasta el punto que se esté evaluando. En cada punto donde se realizan las medidas de deflexión, se aplica una carga de asentamiento de la placa de carga. Una vez que se ha producido esta, se aplican otras cargas de 140, 180 Y 200 KN y se procede a las lecturas de deflexiones obtenidas con el presente equipo.

Dado que las propiedades de rigidez del asfalto varían con la temperatura, se realizan mediciones en la superficie mediante sensores de temperatura automáticos, como también mediciones manuales de la temperatura del asfalto a una profundidad de 4cm, lo cual permite realizar correcciones por temperatura a la deflexión máxima.

Figura 3.15: Termómetro Pavimento



#### 3.4.3.1.2 Definición de Cargas, Ubicación de Geófonos y Puntos de Evaluación

Las evaluaciones se realizan conforme a AC150/5370-11B de la Federal Aviation Administration (FAA) respecto a ensayos no destructivos para la evaluación de pavimentos en aeropuerto con ubicaciones y espaciamientos para pista, rodajes y plataforma; según un estudio a nivel de red, tanto para pavimentos de hormigón como de asfalto. Dicha circular establece los procedimientos y especificaciones respecto de la medición de deformaciones en la superficie del pavimento luego de aplicar cargas de impacto con equipos Deflectómetros de Impacto.

El criterio utilizado para definir las cargas para la evaluación estructural en aeropuertos fue según lo establece la normativa, la cual recomienda aplicar cargas entre 90 kN y 250 kN. Una carga mayor podría exceder la deformación máxima del sensor de desplazamiento y una carga inferior podría dejar a algunos sensores sin registros. Para este proyecto; según información de los pavimentos, se tienen espesores altos y heterogéneos, por lo que se realizaron mediciones para tres niveles de carga (140, 180 y 200 KN). Para asegurar medir deformación a nivel de subrasante, se seleccionó la carga intermedia de las utilizadas para la medición en terreno correspondiente a 180 KN, la cual permite obtener un cuenco de deflexión completo a lo largo del todo el set de geófonos; incluyendo el más alejado del plato de carga, y generar también un bulbo de tensión mucho más grande capaz de poder caracterizar las componentes estructurales de cada una de las capas y subrasante.

A su vez según lo establecido en la normativa, el diámetro del plato de carga utilizado fue de 30 cm y una configuración de 8 geófonos dispuestos a 0, 8, 12, 18, 24, 30, 36 y 60 pulgadas medidas desde el centro del plato.

Figura 3.16: Distribución de Geófonos Deflectómetro de Impacto FWD.



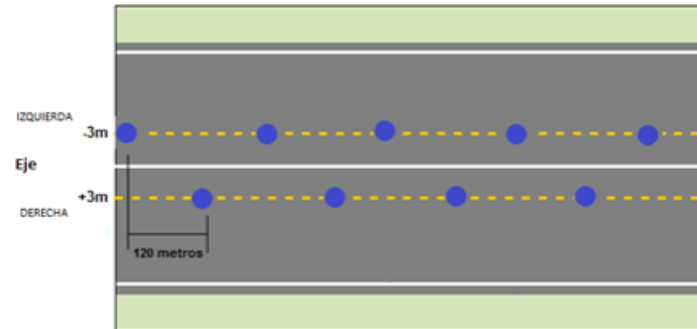
Acorde a lo establecido en la circular anteriormente nombrada las mediciones se realizaron de la siguiente manera:

- Para pista y rodajes de asfalto, se analizan dos líneas a 3m del eje, con puntos en cada línea distanciados a 120m en forma escalonada, pudiendo disminuir su espaciamiento en desahogos de menor longitud. En el caso de los

pavimentos de hormigón se realizó una evaluación cada 60 losas analizando el centro, junta transversal y junta longitudinal de la misma

- Para plataforma se analiza un punto cada 2.000m<sup>2</sup> en caso de tratarse de pavimento flexible y una evaluación cada 60 losas, analizando el centro, una junta transversal y una junta longitudinal.

Figura 3.17: Esquema de Evaluación en Pista y Rodajes Pavimento Asfáltico



#### 3.4.3.1.3 Módulos por Capa en Pavimentos

La información obtenida de la deflectometría de impacto, se retrocalculó con el software ELMOD 6. El software permite realizar el cálculo de los módulos de una estructura de pavimento compuesta hasta por 5 capas.

Figura 3.18: Software ELMOD 6.



El software realiza el cálculo de los módulos de las capas de la estructura de pavimento por medio de 3 opciones:

- Radio de curvatura: Cuando se elige esta opción el software calcula el módulo de las capas utilizando la teoría de espesores equivalentes propuesta por Odemark-Boussinesq.
- Ajuste a la deflexión evaluada: Con esta opción el software utiliza la misma teoría del espesor equivalente de Odemark-Boussinesq pero a diferencia de la opción anterior, se realizan una serie de iteraciones hasta lograr ajustar el cuenco evaluado con el cuenco calculado.
- Módulo FEM/LET/MET: Con este módulo puede hacerse el retro cálculo ya sea con el Método de Elementos Finitos (FEM), Teoría lineal elástico (LET) o el Método de espesor equivalente (MET). El método FEM hace uso de una versión modificada de un programa de elementos finitos axial simétrica, desarrollado originalmente por Wilson en la Universidad de California (Duncan et al., 1968). LET hace uso del programa WESLEA y MET es similar al método utilizado en la opción ELMOD "ajuste del cuenco de deflexión", pero con un uso más simple de los factores de ajuste.

Para el presente informe se utilizó la opción de ajuste empleando el método de elementos finitos (FEM).

En relación a estas mediciones, el proceso de análisis para determinar el módulo depende entre otros factores de los espesores que se ingresen de la estructura de pavimento. En particular el método de elementos finitos utilizado es muy sensible a estos parámetros, por lo que la información de la estructura existente debe ser lo más precisa posible.

El módulo para pavimentos asfálticos en condiciones estándar debería encontrarse entre 2.500 a 5.000 MPa. En general, valores altos de modulo para mezclas asfálticas convencionales indican un posible envejecimiento (y rigidización) del asfalto. Por otro lado, cuando los pavimentos se encuentran agrietados, es posible obtener módulos más bajos que el rango descrito, bajo las mismas condiciones.

Para los pavimentos de hormigón, en condiciones estándar el módulo debiese encontrarse entre 20.000 y 40.000 MPa, dependiendo de la resistencia del hormigón. Al igual que para el asfalto, el método de elementos finitos utilizado es muy sensible a los espesores con los que se caracterice la estructura de pavimento, por lo que la información de la estructura existente debe ser lo más precisa posible. Por ejemplo, si se tiene un pavimento con un espesor de hormigón de 30 cm y un módulo obtenido de 30.000 MPa, y como dato de entrada se aumenta el espesor de hormigón a 40 cm, podría aumentar el módulo obtenido a 130.000 MPa, manteniendo las otras variables constantes.

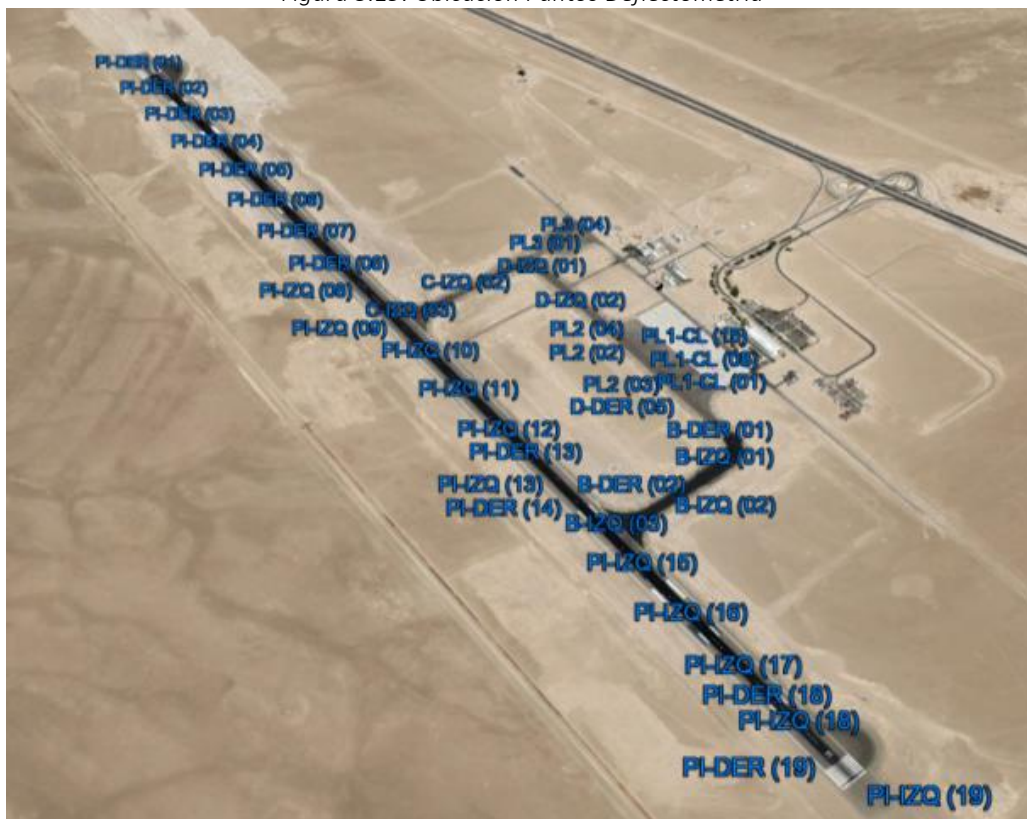
#### 3.4.3.1.4 Parámetros Obtenidos del Análisis de la Deflectometría

Utilizando el software ELMOD 6 para las estructuras de pavimento se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Módulo resiliente de la subrasante.
- Módulo resiliente del material granular.
- Módulo de la carpeta superficial.

#### 3.4.3.2 Zonas de ensayo

Figura 3.19: Ubicación Puntos Deflectometría



Fuente: Elaboración Propia



#### 3.4.3.2.1 Pista

Las mediciones en pista se tomaron en sentido de avance con la numeración de pista, norte-sur, esto es desde el umbral 17 al 35 y a lo largo de dos ejes longitudinales. A los ejes se les llamó PD3 y PI3. La nomenclatura indica el lado de pista en el que se realizó la medición (I: izquierda y D: derecha) y la distancia en metros desde el eje central de pista hasta el eje longitudinal de la medida. El espaciamiento entre puntos fue de 120m para cada eje y con comienzo desfasado, para aumentar la cobertura de las mediciones. Así, para el eje PD3 el inicio fue al km 0,000m, en tanto que para PI3 el inicio fue al km 0,060.

#### 3.4.3.2.2 Rodajes

Las mediciones en los rodajes de aviación comercial se tomaron en sentido oriente-poniente para aquellos perpendiculares a pista, siendo estos Charlie y Bravo. Para Delta las mediciones se efectuaron de norte a sur. En éstos se tomaron a lo largo de dos ejes longitudinales, a los que se les llamó D03 e I03. Igual que antes, la nomenclatura indica el lado del rodaje en el que se encuentra el eje (teniendo en cuenta el sentido de avance descritos) y la distancia en metros desde el eje central del rodaje hasta el eje longitudinal de la medición.

El espaciamiento entre puntos es de 120m, por lo que al igual que pista, los valores de la franja derecha inician en el km 0,000, en tanto que en la franja izquierda al km 0,060.

#### 3.4.3.2.3 Plataforma

Las mediciones en plataforma se distribuyeron según las secciones características, con a lo menos un punto cada 2.000m<sup>2</sup> en pavimento asfáltico. Para pavimento rígido se evaluaron 20 puntos, considerando un total de 1.160 losas, para ello se trazó una línea imaginaria diagonal, obteniendo el número de registros indicado.

#### 3.4.3.3 Análisis de deflexiones

Tal como se mencionó anteriormente, mediante el análisis de las deflexiones es posible calcular los módulos de elasticidad de las diferentes capas de materiales que componen el pavimento. Para ello se utiliza un procedimiento de retroanálisis, que consiste en encontrar la rigidez de las capas que provocarían deflexiones iguales a las medidas en campo. Todas las deflexiones fueron normalizadas a 50kN a una temperatura de referencia de 25°C.

Por otro lado, el módulo de las capas granulares se reportará por separado para la base y la subbase solamente cuando se encuentre durante el análisis que ambas capas se distinguen una de la otra. Si no fuese así, se sumarán los espesores y se tratarán como una sola capa.

#### 3.4.3.3.1 Módulos Elásticos

Una vez analizados todos los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en terreno, se han calculado los valores medios de los módulos de elasticidad para cada una de las diferentes secciones del aeropuerto.

Tabla 3.82: Módulos de Elasticidad (E) por Sección

Rama	Sección	Unidad	Módulo de Elasticidad			
			Asfalto	Hormigón	Base y Subbase	Subrasante
Pista	PI-1	Mpa	8.243		211	145
		Psi	1.195.168		30.626	21.077
	PI-2	Mpa	8.243		211	145
		Psi	1.195.168		30.626	21.077
	U17-1 (N)	Mpa	6.884		315	232
		Psi	998.150		45.674	33.672
	U35-1 (S)	Mpa	5.655		211	160
		Psi	819.984		30.553	23.263
Rod. Bravo	RB-1	Mpa	7.502		210	142
		Psi	1.087.808		30.389	20.614



Rama	Sección	Unidad	Módulo de Elasticidad			
			Asfalto	Hormigón	Base y Subbase	Subrasante
Rod. Charlie	RC-1	Mpa	7.234		235	166
		Psi	1.048.971		34.014	24.097
Rod. Delta	RD-1	Mpa	8.821		196	118
		Psi	1.279.016		28.361	17.110
Plataforma Comercial	PL-1	Mpa		19.198	585	176
		Psi		2.783.674	84.845	25.472
	PL-2	Mpa	5.388		212	148
		Psi	781.197		30.762	21.465
Plataforma General	PL-3	Mpa	7.256		250	190
		Psi	1.052.182		36.247	27.589

Fuente: Elaboración Propia

Cabe mencionar que, para aquellas secciones no auscultadas, fueron asimilados a zonas colindantes de similares características.

En las zonas de asfalto los resultados obtenidos para el módulo de elasticidad se encuentran por sobre el rango típico de pavimentos de este tipo (2.500 a 5.000Mpa). Para el hormigón los valores típicos oscilan entre 20.000 a 40.000 Mpa, por lo que lo obtenido se encuentra levemente inferior al rango. En cuanto a la capa granular, los valores obtenidos son relativamente bajos para una asimilación de bases del tipo P209, acercándose a valores de un material de subbase P154, con un CBR aproximado de 20%.

En general el programa de cálculo utilizado en aeropuertos; FAARFIELD, admite para pavimentos asfálticos un módulo de elasticidad de 200.000psi (1.378,95Mpa) invariable y para las capas inferiores un valor que ronda los 87.000psi (600Mpa) para la base chancada (P209, CBR 58% aprox.) y los 36.250psi (250Mpa) para la subbase (del tipo P-154, CBR 24% aprox.) que varía según el espesor de las capas, que se ajusta automáticamente según el promedio del módulo de la subcapa. Lo anterior es necesario considerar, ya que, en base a ello, para cálculos estructurales, se mantendrán los valores propuestos por defecto, no singularizando cada sección característica en base a los resultados obtenidos.

#### 3.4.3.3.2 Resistencia a Flexotracción

A partir del módulo de elasticidad de los pavimentos rígidos es posible calcular la resistencia a flexotracción de los mismos. Para ello se empleará la formulación que recomienda la Advisory Circular AC 150/5320-6F<sup>13</sup> "Diseño y Evaluación de Pavimentos Aeroportuarios" de la FAA.

Según dicha normativa, la resistencia a flexotracción del hormigón puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$R_f(Mpa) = 1,02 * f_{ct} + 0,81$$

Siendo:

$$f_{ct}(Mpa) = \frac{\sqrt{f'_c}}{1,8} \text{ Relación entre Resistencia a Tracción por Hendimiento y Resistencia a Compresión del Hormigón}$$

$$E(Mpa) = 4700 * \sqrt{f'_c}^{14} \text{ Relación entre el Módulo de Elasticidad y la resistencia a compresión del hormigón}$$

En el área de movimiento del aeropuerto existen únicamente una sección con pavimento de hormigón como capa superficial, ubicada en plataforma, la que fue construida el año 2004. Empleando la formulación descrita en las líneas superiores se ha obtenido el siguiente valor de resistencia a flexotracción para el hormigón:

Tabla 3.83: Resistencia a Flexotracción (Rf)

Sección	Unidad	E horm	Rf
PL-1	Mpa	19.198	3,12
	Psi	2.783.674	453

Fuente: Elaboración Propia

<sup>13</sup> AC 150/5320-6F, ítem 5.5.2.2

<sup>14</sup> ACI-318-08



A diferencia del análisis de módulos elásticos, para pavimento rígido, el módulo de resistencia a la flexotracción es inferior al esperado para un pavimento de hormigón que, si bien tiene más de 10 años, su condición es excelente. Se esperaría obtener un valor próximo a los 650psi (4,48Mpa, 46kg/cm<sup>2</sup>). A pesar de ello, el programa FAARFIELD admite modificar este número, pudiendo variar desde 500 a 900 psi (3,45 a 6,21 Mpa).

#### 3.4.3.3.3 Capacidad de Soporte del Suelo de Fundación

Con igual premisa que lo indicado para pavimento rígido, a partir del módulo de elasticidad del suelo es posible calcular la resistencia del suelo de fundación. Para ello se empleará la formulación que recomienda la Advisory Circular AC 150/5320-6F<sup>15</sup> "Diseño y Evaluación de Pavimentos Aeroportuarios" de la FAA.

Las fórmulas aplicadas serán:

Las fórmulas aplicadas serán:

$$E(\text{psi}) = 1.500 * CBR$$

$$E(\text{psi}) = 20,15 * k^{1,284}$$

Siendo:

CBR Índice California Bearing Ratio (%)

K Módulo de reacción de la subrasante (pci=psi/in)

E Módulo de elasticidad de la subrasante (psi)

De ambas fórmulas se tiene que:

$$K(\text{psi} / \text{in}) = 28,6926 * CBR^{0,7788}$$

Tabla 3.84: Valores Reacción Subrasante

Rama	Sección	Tipo Pav	Unidad	E	CBR	k
				Subrasante		
Pista	PI-1	Flexible	Mpa	145	14	
			Psi	21.077		
	PI-2	Flexible	Mpa	145	14	
			Psi	21.077		
	U17-1 (N)	Flexible	Mpa	232	22	
			Psi	33.672		
	U35-1 (S)	Flexible	Mpa	160	16	
			Psi	23.263		
Rod. Bravo	RB-1	Flexible	Mpa	142	14	
			Psi	20.614		
Rod. Charlie	RC-1	Flexible	Mpa	166	16	
			Psi	24.097		
Rod. Delta	RD-1	Flexible	Mpa	118	11	
			Psi	17.110		
Plataforma Av. Comercial	PL-1	Rígido	Mpa	176	17	260
			Psi	25.472		
	PL-2	Flexible	Mpa	148	14	
			Psi	21.465		
Plataforma Av. Gral.	PL-3	Flexible	Mpa	190	18	
			Psi	27.589		

Fuente: Elaboración Propia

Contrastando los valores anteriores, con los obtenidos por medio de laboratorio como resultado de las calicatas se tiene que los resultados por medio de módulos de elasticidad se encuentran muy por debajo que los de mecánica de suelos. En el primero los valores rondan en promedio un CBR de 16%, en tanto que por ensayos de laboratorio promedian un valor de CBR de 39%.

<sup>15</sup> AC 150/5320-6F, ítem 2.5.3



### 3.4.3.3.4 Valores Estudios Anteriores

En el estudio *Actualización de la Información de la Infraestructura Aeroportuaria Red Primaria-2014*, se hace un análisis de los estudios anteriores y a su vez los compara con los valores obtenidos mediante la deflectometría realizada en esa oportunidad. Cabe mencionar que tal como se describe en informe de recopilación de antecedentes, desde el estudio del 2014 el aeropuerto no ha sufrido intervenciones mayores, por lo que se mantienen las secciones, pudiendo ser todas asimiladas al escenario actual. A continuación, se incluye la tabla resumen de la evaluación 2014:

Tabla 3.85: Valores Estudio 2014

Rama	Sección 2014	Sección 2021	Unidad	Módulo de Elasticidad				Rf	CBR subr %	k pci
				Asfalto	Hormigón	Base y Subbase	Subrasante			
Pista	PI-1	PI-1	Mpa	5.473		296	117		11	
			Psi	793.585		42.920	16.965			
	PI-2	PI-2	Mpa	5.783		232	198		19	
			Psi	838.535		33.640	28.710			
	UN-1 (17)	UN-1 (17)	Mpa	5.854		301	250		24	
			Psi	848.830		43.645	36.250			
	US-1 (35)	US-1 (35)	Mpa	6.095		194	171		17	
			Psi	883.775		28.130	24.795			
Rodaje Bravo	RB	RB	Mpa	6.083		262	124	12		
			Psi	882.035		37.990	17.980			
Rodaje Charlie	RC	RC	Mpa	4.927		280	168	16		
			Psi	714.415		40.600	24.360			
Rodaje Charlie	RD	RD	Mpa	7.026		229	113	11		
			Psi	1.018.770		33.205	16.385			
Plataforma Comercial	PL-1	PL-1	Mpa		38.535	460	94	5,46	9	131
			Psi		5.587.575	66.700	13.630	791		
	PL-2	PL-2	Mpa	5.934		236	153	15		
			Psi	860.430		34.220	22.185			
Plat. Gral.	PL-3	PL-3	Mpa	5.853		286	198	19		
			Psi	848.685		41.470	28.710			

Fuente: Informe De Características Estructurales De Los Pavimentos Aeropuerto Desierto de Atacama-Copiapó-2014

(\*) Pavimentos sometidos a conservación mayor posterior al año 2014

De los módulos elásticos 2014, se puede indicar que se encuentran por debajo de los rangos del estudio actual, donde se aproximan a 1.000.000psi. En plataforma en la zona de hormigón existe una diferencia inversa, donde el valor de resistencia a la flexotracción del hormigón está muy por debajo de lo esperado en el estudio actual. Finalmente, con respecto a los valores de la subrasantes, estos son similares, con un valor promedio de CBR de 16% lo que difiere de los datos obtenidos por medio de laboratorio.

## 3.4.4 Georradar

### 3.4.4.1 Metodología

#### 3.4.4.1.1 Equipo

El Georradar corresponde a un equipo de medición de alto rendimiento, cuenta con una antena de 2.0 GHz capaz de diferenciar las capas que componen la estructura de un pavimento. El georradar consta de tecnología GPR de alta frecuencia, con capacidad de adquirir información de rutas completas en periodos acotados de tiempo. Este sistema genera imágenes del subsuelo utilizando como fuente transmisora una antena electromagnética emitiendo una señal a una frecuencia fija que puede penetrar sedimentos, roca, hielo u otros tipos de materiales naturales o artificiales.

El GPR detecta cambios en las propiedades electromagnéticas de los materiales del paquete estructural de los pavimentos. Los materiales involucrados en un pavimento poseen propiedades características las cuales en conjunto con las características de la onda emitida y su forma de propagación permiten discretizar los elementos que conforman un

pavimento. La propiedad física que hace posible la determinación de los espesores corresponde a la velocidad de propagación de la onda a través del medio por el cual se propaga.

A continuación, se presenta el equipo de medición para con el cual se realizaron las evaluaciones. Allí se observan los componentes en el exterior del vehículo de transporte.

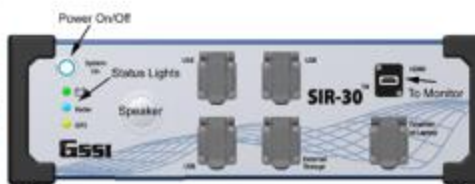
Figura 3.20: georradar



Los componentes del equipo son:

- Antena de 2 GHz: El modelo empleado está diseñado para la obtención de los espesores a alta velocidad y con alta resolución.
- Procesador SIR-30: Sistema operativo del equipo, a través de él el operador puede ver en tiempo real la señal que va capturando la antena durante la medición.
- Odómetro. Sistema compuesto por un odómetro conectado a la rueda del vehículo y al procesador del equipo. De esta manera se correlaciona la distancia recorrida con las ondas emitidas.

Figura 3.21: Componentes: Antena, Procesador, Odómetro



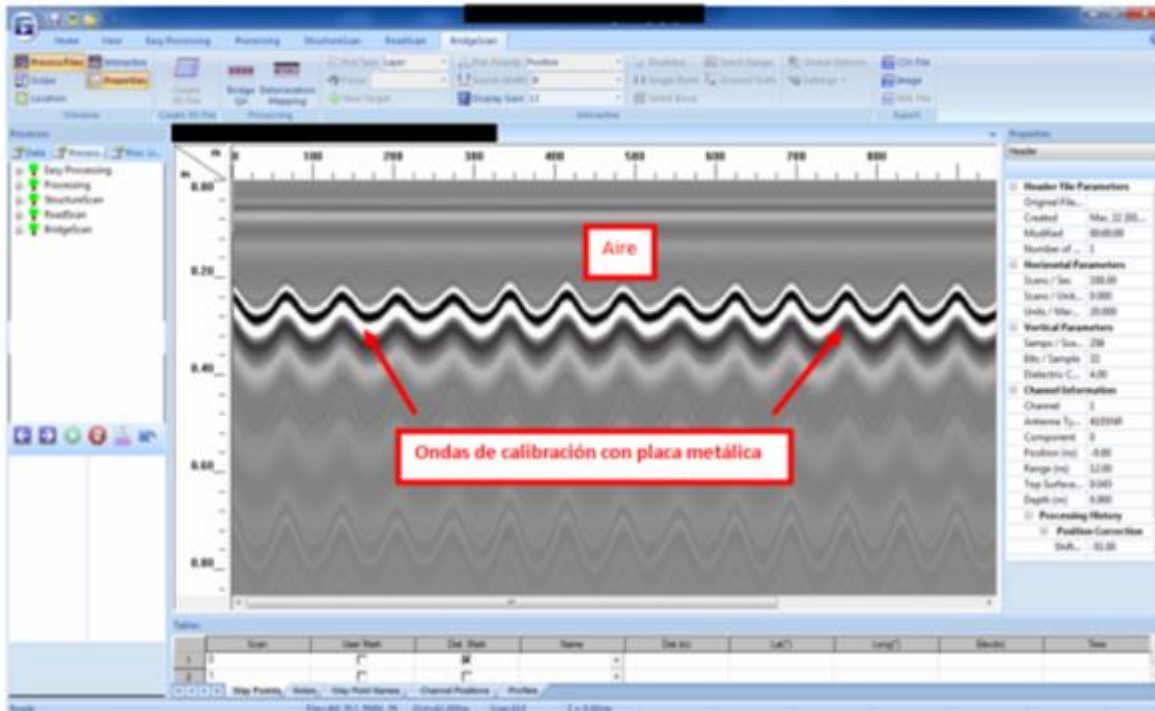
El equipo de medición utilizado para la obtención de datos es operado por un equipo profesional el cual ha adquirido una amplia experiencia en auscultaciones para la gestión de infraestructura vial. Para este proyecto se cuenta con protocolos de verificación los cuales han sido desarrollados para cumplir con las exigencias tanto de clientes como de los fabricantes.

#### 3.4.4.1.2 Procedimiento de Medición

Las campañas de medición inician con una calibración estática la que es realizada con placa metálica normalizada. El procedimiento consiste en instalar la placa metálica de 1 metro de ancho por 1 metro de largo bajo la antena, luego se

enciende el equipo y se provoca un movimiento ondulatorio de la antena a través de ejercer presión sobre el vehículo. Esto provoca una onda repetitiva, que tiene como eje horizontal el tiempo y vertical la distancia recorrida de la onda, entregando el efecto de la amortiguación del vehículo sobre la medición.

Figura 3.22: Calibración con Placa Metálica en Terreno



Una vez realizada la calibración, el equipo Georradar puede realizar mediciones desde una velocidad mínima de 1 km/h hasta una velocidad máxima 80 km/h, no interfiriendo en el tránsito normal de un vehículo respecto a la velocidad de desplazamiento. Sin embargo, la velocidad óptima de medición se encuentra en 50 Km/h.

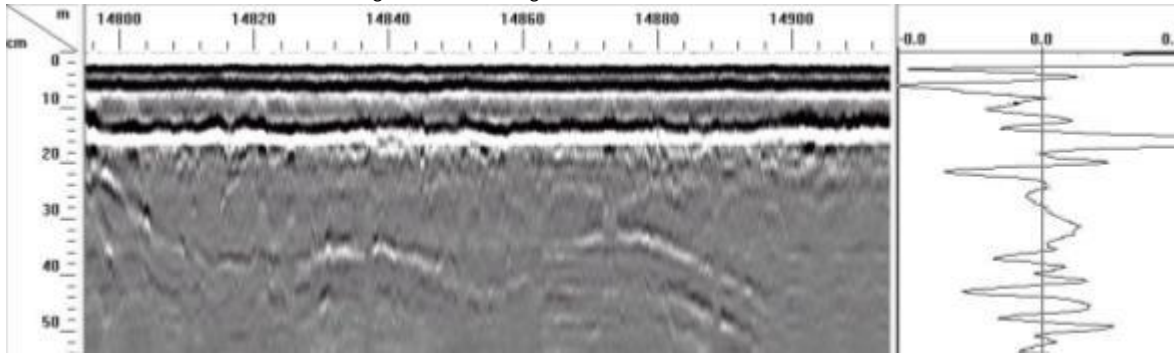
#### 3.4.4.1.3 Determinación de la Estructura de Pavimento con Georradar

Terminado el proceso de medición en terreno, se procede al trabajo de gabinete el cual es realizado por personal especializado en la interpretación de datos y supervisado por especialistas en auscultación de pavimentos.

La información obtenida durante las campañas de medición se extrae digitalmente a través de dispositivos de memoria externa.

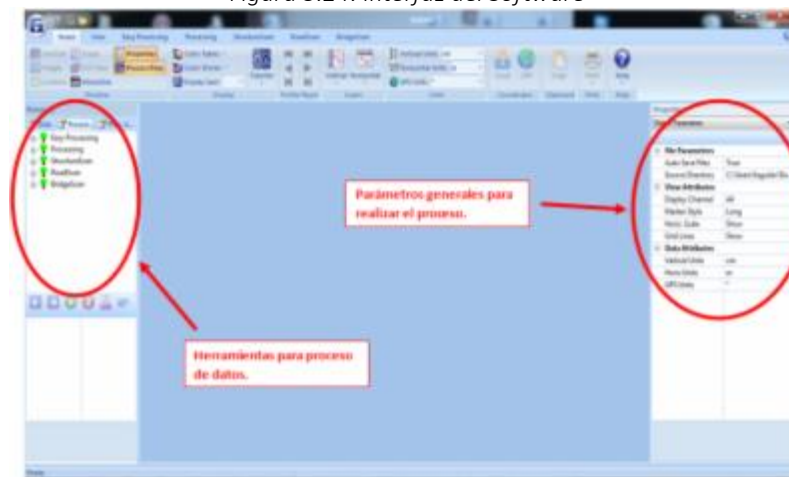
En la figura siguiente, se aprecia un perfil tipo de un pavimento levantado con georradar.

Figura 3.23: Imagen Obtenida con Georradar



Para realizar el análisis de los datos se trabaja con el software especializado para el análisis de espectros de georradar. Este programa lee los datos entregados por la antena de revisión en un formato DZT, propio de este tipo de equipos. La interfaz del programa es la que se presenta a continuación, en donde se definen las características iniciales del trabajo a realizar.

Figura 3.24: Interfaz del Software

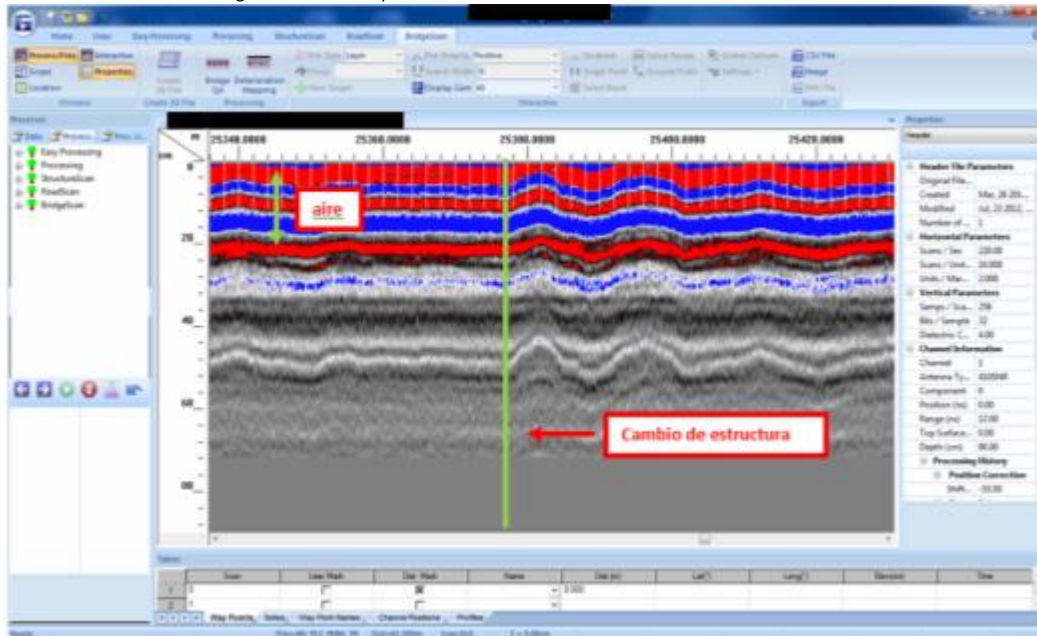


La ventaja que presenta este software es que permite realizar un proceso de limpieza y eliminación de ruidos de la señal provocados por vibraciones durante la auscultación. Además, es posible eliminar el espacio de aire entre la antena y el pavimento, tanto de forma manual como automática y así facilitar la interpretación del espectro.

El procesamiento de datos corresponde a un análisis interno del software el cual caracteriza cada punto en el espectro y le asigna propiedades físicas. Luego se realiza un trabajo de interpretación que complementa el trabajo automatizado para diferenciar las capas que componen el pavimento en estudio. Es en este punto donde interactúa tanto el criterio ingenieril con la automatización a través de los computadores, donde el resultado final corresponderá a la unión de puntos cuyas propiedades son idénticas o similares para así definir espesores de capas.

En la siguiente Figura, se muestra un esquema general del trabajo que se realiza con el software y como se van identificando las capas de la estructura del pavimento. En color azul y rojo se observa la capa de aire la que en primera instancia es extraída del espectro. Debajo de la capa de aire se observan diferentes tonalidades desde gris, a negro con espacios en color blanco. Este patrón de colores refleja cambios en las propiedades físicas de la composición del paquete estructural del pavimento y el que entrega una guía para estimar los espesores.

Figura 3.25: Esquema General de un Pavimento Evaluado



Una vez determinadas todas las profundidades, la información se exporta en un archivo .xls que permite calcular los espesores de las capas.

Cabe destacar que los espesores obtenidos a partir de la evaluación realizada con el equipo georradar deben ser calibrados con los espesores reales de pavimentos, que pueden obtenerse de testigos as built.

#### 3.4.4.2 Zonas de ensayo

De acuerdo a lo solicitado en los antecedentes de licitación, se lleva a cabo el estudio de la estructura de pavimentos por medio de georradar. Este se realiza mediante un equipo GPR (Ground Penetrating Radar), que representa una técnica no destructiva, rápida y eficaz de determinar el espesor de las capas del pavimento. En términos generales, el equipo opera enviando energía en forma de ondas electromagnéticas y registrando la reflexión que se produce en la interfaz de dos materiales. El lapsus de tiempo entre la emisión y la recepción de la onda reflejada, es utilizado para calcular la distancia al objetivo. Por otro lado, la intensidad de la reflexión es utilizada para evaluar las propiedades del material objetivo.

El análisis estructural mediante este sistema se llevó a cabo en pista y rodajes en 4 franjas, con mediciones cada 100 y 50m respectivamente. Las distancias de estas franjas son a 3 y 15 metros del eje en pista y a 3 y 9 metros del eje para rodajes y desahogos.

#### 3.4.4.3 Valores obtenidos

De acuerdo a lo indicado anteriormente, se obtienen un número de registros indicados a continuación, considerando las fajas y las distancias entre puntos en éstas.

Cabe mencionar que en general para todas las mediciones, los valores por faja y por sección no difieren en más de 2cm entre sí como promedio, siendo muy similares según sector evaluado.

Se incluye el resumen de los valores obtenidos:



Tabla 3.86: Determinación Espesores Promedio

Sector	Sección	Tipo de Pavimento	Capa Pavimento (cm)	Capa Granular (cm)	N° Puntos
Pista centro	PI-1	Flexible	10	39	44
Pista borde	PI-2	Flexible	10	39	44
Rodaje Bravo	RB-1	Flexible	9	39	24
Rodaje Charlie	RC-1	Flexible	10	39	24
Rodaje Delta	RD-1	Flexible	9	39	44

Fuente: Elaboración Propia

De las otras consultas requeridas se menciona:

- Identificación aire entre capas: no se registra
- Detección de presencia de exceso de agua: no se registra
- Adherencia entre capas: no se detecta separación entre capas de pavimento mixto

Los valores obtenidos de asfalto se encuentran dentro del rango de lo esperado, según recopilación de antecedentes de estudios y proyectos, identificados en la tabla 2.1. Se aclara que el espesor de la capa granular no hace diferencia entre bases o subbases.

### 3.4.5 Cálculo Estructural

#### 3.4.5.1 Determinación de la vida residual

##### 3.4.5.1.1 Consideraciones de Verificación y Diseño

Para la determinación de la vida residual se utilizará los mismos parámetros y consideraciones del cálculo estructural, recomendadas en el Manual de Diseño de Aeródromos, parte 3: Pavimentos de OACI, y en el Advisory Circular 150/5320-6F<sup>16</sup>: Airport Pavement Design and Evaluation.

El método de cálculo a utilizar corresponde al Método Mecanicista FAARFIELD, el cual trabaja en base a la acumulación de deterioros producidos por el aporte de todas y cada una de las aeronaves de la flota proyectada. Está basado en el concepto del Factor de Daño Acumulado (CDF), analizando la contribución de cada aeronave al daño total del pavimento.

Los datos necesarios para realizar los cálculos son:

- Operaciones proyectadas anuales por aeronave en un horizonte de 20 años.
- Capacidad de soporte del terreno de fundación.
- Características de la estructura, considerando si es de hormigón, asfalto y de las capas inferiores.

En el caso que la vida residual sea inferior al horizonte de diseño, se deben considerar obras de conservación, con las siguientes premisas:

- Pueden existir recapados asfálticos sobre asfalto u hormigón, excepto en plataforma, donde se priorizan los trabajos en pavimento rígido
- Se mantienen las capas granulares, salvo cuando por motivos particulares se requiera su retiro.
- Se considera el índice PCI por sección y la edad del pavimento para priorizar los trabajos.
- Cuando se estime conveniente, se proyecta nueva estructura en lugar de un recapado asfáltico.
- No se considera en el diseño las secciones de aviación general.

Cabe mencionar que el proceso de verificación de vida residual considera la actual estructura, sometida a las cargas proyectadas en el horizonte de diseño, ello independiente de la edad o características del pavimento, en cuanto si este presenta daños superficiales y/o estructurales o contrariamente si se encuentra sin daño aparente. En este sentido, lo que prima son los espesores de las capas que componen la estructura y la capacidad portante del suelo de fundación para

<sup>16 16</sup> Se trabaja con versión AC 150/5320-6F ya que la versión 6G aun no es formalizada y está en formato de borrador dentro de la página de la FAA.



soportar las cargas de la flota proyectada. En caso de entregar valores de vida inferiores al horizonte de diseño, se calculan espesores según las necesidades estructurales y funcionales.

En la verificación y posterior rediseño se tendrán a considerar los siguientes criterios:

- Se utiliza el mismo número de operaciones para toda el área de movimiento, tendiendo de esta manera el análisis más crítico posible.
- Para la verificación de pavimentos rígidos y debido a la dispersión de los valores obtenidos según el método de flexotracción tanto de este estudio como de los anteriores, se opta por utilizar un valor de 700Psi (4,83Mpa) para pavimentos de mediana a baja edad y 650Psi (4,43Mpa) para pavimentos de larga data y para aquellos que se encuentran bajo pavimento asfáltico.
- Para la verificación de pavimentos asfálticos; al igual que lo indicado en el punto anterior, debido a la dispersión de módulos de elasticidad de pavimentos flexibles se opta por mantener el valor estándar del software FAARFIELD igual a 200.000Psi (1.378Mpa), valor de todas formas invariable dentro del programa.
- En las verificaciones de recapados asfálticos es necesario considerar; según el software FAARFIELD, el factor SCI del pavimento inferior previo a la aplicación de la capa superficial, el que tendrá un rango de 67% a 100%. Considerando que no se cuenta con esta información, se adopta el valor estándar de 80%.
- En el análisis se utiliza exclusivamente la proyección de operaciones, de acuerdo etapa 3.2 y la mecánica de suelos para la capacidad del suelo de fundación, según etapa 2.2.

#### 3.4.5.1.2 Información del Terreno de Fundación

Considerando el informe de Mecánica de Suelos del estudio, de la sub etapa 2.2, de acuerdo a la inspección visual y a los ensayos realizados en la exploración de 10 calicatas, se obtienen los antecedentes básicos del suelo de fundación.

##### 3.4.5.1.2.1 Modelo estratigráfico

De acuerdo con la información obtenida de la red de exploración, el subsuelo presenta un perfil compuesto por las siguientes unidades estratigráficas fundamentales, cuyas características y dimensiones se entregan a continuación:

**UNIDAD U1:** Relleno, sin olor, compuesto de grava de origen fluvial en matriz arena arcillosa, humedad baja y color gris. Estrato de suelo de cementación baja y de compacidad media alta. Contiene clastos sanos de forma redondeada de tamaño máximo de 2" y tamaño medio de 1". No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como GP, GP-GM, GW-GM, SP-SM

**UNIDAD U2:** Arena limpia a limosa, olor térreo, de grano grueso, plasticidad nula, humedad baja y color café grisáceo. Contiene un porcentaje de finos de aproximadamente 5 a 10% y un porcentaje de grava de aproximadamente entre 10 a 44%. Posee una cementación media alta y una consistencia media alta. No se observan raíces ni raicillas. De acuerdo con el sistema USCS, clasifica como SP-SM, SP.

##### 3.4.5.1.2.2 Parámetro para diseño estructural

Tabla 3.87: Parámetros del suelo

Calicata	Profundidad	Material	Valor C.B.R.
			Para 0,2"
N°	[m]	(USCS)	[%]
C1	0.80	SP-SM	26
C2	0.80	SP-SM	24
C3	0.80	SP-SM	26
C4	0.80	GP-GM	50
C5	0.80	SM	31
C6	0.80	GP-GM	50
C7	0.80	SP-SM	29
C8	0.80	GW-GM	52
C9	0.80	GW-GM	47



Calicata	Profundidad	Material	Valor C.B.R.
			Para 0,2"
N°	[m]	(USCS)	[%]
C10	0.80	GP-GM	59

Fuente: Informe Mecánica de Suelos: AZN20-AT-MS-IN-01

Como recomendación se indica: Si bien no se han detectado suelos salinos, la ubicación del aeropuerto podría ser indicativa de que existen zonas con costras salinas o trozos con alto contenido de sales solubles los que se pudieron retirar al ejecutar los rellenos detectados, los que pueden provocar asentamientos frágiles y posible colapso de la estructura. Para evitar estos problemas, se deberá aislar el suelo salino de la humedad.

Previo al inicio de las excavaciones, bajo radiéres y pavimentos deberá realizarse un escarpe. Este consistirá en la excavación y retiro de todo material inadecuado. Sin embargo, se sigue realizando un escarpe de al menos de 10 a 20cm, en zonas de suelo natural.

#### 3.4.5.1.2.3 Valores adoptados de la subrasante

De la información anterior, se tiene que el valor de CBR promedio es de 39,4%, tomándose este valor menos una desviación estándar señalado por el documento 150/5320-6F de la FAA, resulta un CBR de 26%.

Para determinar el módulo de reacción de la subrasante se utilizará la expresión recomendada por la FAA, antes incluida,

$$K(\text{psi} / \text{in}) = 28,6926 * \text{CBR}^{0.7788}$$

Con el CBR indicado, el valor de K corresponde a 363 pci (99 MN/m<sup>3</sup>).

#### 3.4.5.1.3 Proyección de Demanda

Además de lo anterior, un dato primordial será el volumen de tráfico para cada aeronave dentro del horizonte de diseño (20 años) y las características de cada una de ellas. A partir de ello, se obtendrá la aeronave crítica y el factor de daño acumulativo (cumulative damage factor CDF), entre otros.

Se considera la siguiente proyección de operaciones para el horizonte de 20 años, la que viene dada del estudio de demanda de la Sub etapa 3.2.

Tabla 3.88: Proyección Esperada de Operaciones Nacionales. Según tipos de Actividad

Año	Operaciones Comerciales					Militares		Carga		Varias Actividades			Ops Menor	Total
	B732-733	B462	A319	A320-A20N	A321	+100 (ton)	<100 (ton)	+100 (ton)	<100 (ton)	<25 ton	<50 ton	>50 ton		
2021	29	48	730	971	873	24	211	0	0,4	50	2	0	464	3.402
2022	37	60	914	1.216	1.093	24	211	0	0,7	63	3	0	581	4.203
2023	41	66	1.017	1.353	1.216	24	211	0	0,9	70	3	0	646	4.649
2024	42	69	1.053	1.402	1.260	24	211	0	1,1	72	4	0	670	4.808
2025	40	65	1.022	1.555	1.359	24	211	0	1,2	76	4	0	707	5.065
2026	38	61	982	1.720	1.465	24	211	0	1,2	81	4	0	747	5.333
2027	35	57	935	1.896	1.577	24	211	0	1,3	85	4	0	787	5.613
2028	32	51	879	2.087	1.697	24	211	0	1,4	90	4	0	831	5.907
2029	28	45	814	2.293	1.825	24	211	0	1,4	95	5	0	876	6.216
2030	23	38	739	2.512	1.960	24	211	0	1,5	100	5	0	923	6.535
2031	18	30	653	2.747	2.102	24	211	0	1,6	105	5	0	971	6.867
2032	13	21	555	2.998	2.254	24	211	0	1,7	110	5	0	1.022	7.217
2033	7	11	446	3.267	2.415	24	211	0	1,8	116	6	0	1.076	7.580
2034	0	0	323	3.554	2.585	24	211	0	1,8	122	6	0	1.131	7.958
2035	0	0	291	3.583	2.905	24	211	0	1,9	128	6	0	1.186	8.336
2036	0	0	254	3.608	3.252	24	211	0	2,0	135	7	0	1.245	8.738
2037	0	0	213	3.623	3.623	24	211	0	2,1	141	7	0	1.305	9.150
2038	0	0	167	3.628	4.018	24	211	0	2,2	148	7	0	1.367	9.573
2039	0	0	117	3.624	4.443	24	211	0	2,3	155	8	0	1.432	10.016
2040	0	0	61	3.611	4.896	24	211	0	2,4	162	8	0	1.500	10.476
2041	0	0	0	3.589	5.383	24	211	0	2,6	170	8	0	1.570	10.957



Año	Operaciones Comerciales					Militares		Carga		Varias Actividades			Ops	Total
<b>Total</b>	<b>354</b>	<b>575</b>	<b>11.434</b>	<b>53.868</b>	<b>51.329</b>	<b>473</b>	<b>4.226</b>	<b>0</b>	<b>33</b>	<b>2.223</b>	<b>108</b>	<b>0</b>	<b>20.574</b>	<b>145.196</b>
<b>Promedio</b>	<b>18</b>	<b>29</b>	<b>572</b>	<b>2.693</b>	<b>2.566</b>	<b>24</b>	<b>211</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>111</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>1.029</b>	<b>7.260</b>
<b>Despegues</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>286</b>	<b>1.347</b>	<b>1.283</b>	<b>12</b>	<b>106</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>56</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>514</b>	

Fuente: Informe de Demanda: AZN20-AT-DE-IN-01

Tabla 3.89: Aeronaves Mayores Tipo según actividad y Peso

Actividad	Peso MTOW (ton)		Avión Proxi	
	rango		Tipo	
<b>Carga</b>	<100 ton		AN32	Airbus 320-200Neo
<b>Carga</b>	+100 ton			
<b>Militares</b>	<100 ton		E135	Embraer ERJ-135
<b>Militares</b>	+100 ton		B763	Boeing 767-300
<b>Otras Act.</b>	<25 ton		BE40	Beechjet 400
<b>Otras Act.</b>	<50 ton		B462	Aeroespacial Bae-146-200
<b>Otras Act.</b>	>50 ton			

Fuente: Informe de Demanda: AZN20-AT-DE-IN-01

Lo anterior, se traducirá en los siguientes despegues. Se descartan los valores de operaciones esporádicas, manteniendo así las que se proyectan con al menos 24 operaciones al año en el horizonte de diseño (1 despegue mensual).

Tabla 3.90: Aeronaves de Cálculo

OPERACIÓN	AERONAVE	DESPEGUES	MTOW	MTOW
			(ton)	(lb)
COMERCIAL	B462	14	42	92.400
	A319	286	75	165.000
	A320-A20N	1347	79	173.800
	A321	1283	93	204.600
MILITAR	B763	12	187	411.400
	E135	106	20	44.000
OTRAS ACTIVIDADES	BE40	56	7,2	15.840

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.4.5.1.4 Características Estructuras Actuales

A modo de resumen se incluye la información de las estructuras del aeropuerto, espesor, módulos de elasticidad y resistencia a la flexotracción, a considerar en las verificaciones y diseños:

Tabla 3.91: Características de Pavimentos

SECCIÓN	TIPO DE PAVIMENTO	AÑO CONSTRUCC.	ESPESOR (cm)				E psi	Rf psi
			A	H	B	SB		
PI-1	Flexible	2004	10		20	20	200.000	
PI-2	Flexible	2004	10		20	20	200.000	
U17-1 (N)	Flexible	2004	10		20	20	200.000	
U35-1 (S)	Flexible	2004	10		20	20	200.000	
RB-1	Flexible	2004	10		20	20	200.000	
RC-1	Flexible	2004	10		20	20	200.000	
RD-1	Flexible	2004	10		20	20	200.000	
PL-1	Rígido	2004		33		15		700
PL-2	Flexible	2004	10		20	20	200.000	

Fuente: Elaboración Propia

Nota:

- De la tabla siguiente las abreviaciones serán
 

A	Asfalto
H	Hormigón
B	Base
SB	Subbase



### 3.4.5.1.5 Resultados Vida Residual

De acuerdo a lo anterior, se tiene lo siguiente:

Tabla 3.92: Vida Residual (VR)

Sección	Año Constr.	PCI Sección	Espesor cm				Vida Residual Años	Estructura Requerida cm			Condición
			A	H	B	SB		A	RA	H	
PI-1	2004	85	10		20	20	>20				Estructura Suficiente PCI Muy Bueno
PI-2	2004	95	10		20	20	>20				Estructura Suficiente PCI Excelente
U17-1 (N)	2004	85	10		20	20	>20				Estructura Suficiente PCI Muy Bueno
U35-1 (S)	2004	92	10		20	20	>20				Estructura Suficiente PCI Excelente
RB-1	2004	94	10		20	20	>20				Estructura Suficiente PCI Excelente
RC-1	2004	95	10		20	20	>20				Estructura Suficiente PCI Excelente
RD-1	2004	96	10		20	20	>20				Estructura Suficiente PCI Excelente
PL-1	2004	99		33		15	0			41H 15B	Estructura Insuficiente PCI Excelente
PL-2	2004	94	10		20	20	>20				Estructura Suficiente PCI Excelente

Fuente: Elaboración Propia

Según los valores obtenidos y haciendo una comparación con estudios anteriores para este mismo aeropuerto, en ambos casos ha arrojado una vida residual superior al horizonte de diseño para los pavimentos asfálticos, aun con la diferencia de edad entre evaluaciones, comprobando que la estructura actual para cada sección es suficiente para la proyección de demanda en el horizonte de diseño. En forma contraria, para el caso de hormigón, la estructura es insuficiente según las operaciones esperadas, lo que también es coincidente con el estudio anterior.

Para las zonas de VR suficiente podrán mantener su estructura el momento de conservación mayor de no modificar la flota proyectada. Pudiendo únicamente reemplazar la capa superficial antigua por una nueva.

Se evidencia que los datos obtenidos son muy sensibles al valor de CBR o K adoptado.

Finalmente, en base a los valores de Vida Residual y condición según PCI para cada sección de este aeropuerto, se comprueba que no es necesario realizar ningún tipo de conservación mayor a corto plazo para pavimentos asfálticos, en tanto que se determina una nueva estructura de hormigón, modificando incluso la capa granular, que según normativa debe estar compuesta de una base 100% chancada, utilizando para el cálculo la base del tipo P209.

Tabla 3.93: Observaciones

Sección	Observaciones
PI-1	Según índice PCI podrá requerir mantenimiento localizado, de acuerdo a la severidad de sus deterioros, sin embargo, en base a PCI crítico no se contempla su reconstrucción. Así mismo, de acuerdo a espesores y vida residual no requiere modificar su estructura. Para los trabajos de conservación mayor se recomendaría recapado o reemplazo de asfalto en igual espesor manteniendo capas granulares.
PI-2	Sin observaciones
U17-1 (N)	Ídem PI-1
U35-1 (S)	Sin observaciones
RB-1	Sin observaciones
RC-1	Sin observaciones
RD-1	Sin observaciones
PL-1	Se determina una nueva estructura, considerando vida residual insuficiente para la flota proyectada. Cabe mencionar, que según indica PCI esta sección se encuentra excelente y se ha mantenido de esta manera durante sus inicios, por lo que a criterio de este consultor su reconstrucción



Sección	Observaciones
	no es necesario considerarla como obra prioritaria, sino hasta que comiencen a aparecer registros de daños estructurales de forma representativa. La nueva estructura resultante será de HORMIGÓN 41cm + BASE 15cm.
PL-2	Sin observaciones

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.5.2 Modelo de Deterioro

#### 3.4.5.2.1 Consideraciones

Para la determinar un modelo de deterioro es clave tener información histórica del pavimento y que esta sea confiable y periódica. Ante este escenario el modelo de deterioro de mayor confiabilidad según el índice de deterioro es el que arroja el software micropaver, que asume la condición actual del pavimento PCI (Paviment Condition Index) y en base a los deterioros presentes proyecta una tasa de decrecimiento en su condición, sin embargo este modelo predictivo; de no ser asociado a una familia de pavimento de similares características, es asociado por defecto a familias estándar según tipo de carpeta superficial, las que llevan relacionados un número de deterioros en severidad y cantidad de acuerdo a la edad de un pavimento. Es por ello, que suele ocurrir que en pavimentos sin deterioros la tasa de decrecimiento del índice baja abruptamente, a diferencia de pavimentos que presentan algún tipo de defecto, donde según este último escenario, el programa asocia la densidad de defectos y su severidad, y aplica una tasa de crecimiento, según estadísticas para cada tipo de deterioro, haciendo las proyecciones más confiables.

Aun así, de no asociar a familias, las proyecciones son puntuales para cada sección, y no es posible identificar una tendencia de comportamiento global para pavimentos de similares características.

En base a lo anterior se estima necesario; tal como fue indicado en la etapa 1 de este estudio, en el informe *Metodología y Políticas de Conservación*, aunar secciones de similares características físicas, geográficas y operacionales, creando familias con curvas representativas según su tasa de decrecimiento en su condición funcional según índice PCI y su condición estructural según índice SCI (Structural Contion Index), que se obtiene de manera similar al indicador PCI, pero que considera una menor cantidad de deterioros, asociados principalmente a problemas estructurales de las carpetas de rodado, donde influye la cantidad y severidad para su drecrecimiento. De acuerdo a este índice, los pavimentos presentan un nivel superior al PCI, no estando presente en muchos de ellos daños estructurales, sino daños en su superficie y funcionalidad.

A continuación, se incluyen los deterioros que afectan al pavimento y cuáles de estos se asocian al índice SCI y en que niveles de severidad:

Tabla 3.94: Deterioros Pavimentos de Aeronaves Según Micropaver

Pav.	Código	Tipo de Deterioro asociado a PCI	Unidad	Severidad asociada a SCI			
				B	M	A	S/N
ASFALTO	41	GRIETAS TIPO PIEL DE COCODRILO	m <sup>2</sup>	X	X	X	
	42	AFLORAMIENTO DE ASFALTO	m <sup>2</sup>				
	43	GRIETAS EN BLOQUE	m <sup>2</sup>				
	44	CORRUGAMIENTO	m <sup>2</sup>				
	45	DEPRESIONES	m <sup>2</sup>	X	X	X	
	46	EROSIÓN POR CHORRO JET	m <sup>2</sup>				
	47	GRIETAS DE REFLEXIÓN DE JUNTURAS DE HORMIGÓN	m				
	48	GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	m			X	
	49	DERRAMES DE ACEITES SOLVENTES	m <sup>2</sup>				
	50	BACHEOS	m <sup>2</sup>			X	
	51	AGREGADOS PULIDOS	m <sup>2</sup>				
	52	EROSIÓN SUPERFICIAL	m <sup>2</sup>				
	53	AHUELLAMIENTO	m <sup>2</sup>	X	X	X	
	54	EMPUJE EN UNIÓN ASFALTO-HORMIGÓN	m <sup>2</sup>				
	55	GRIETAS POR RESBALAMIENTO	m <sup>2</sup>				
	56	HINCHAMIENTO	m <sup>2</sup>				



Pav.	Código	Tipo de Deterioro asociado a PCI	Unidad	Severidad asociada a SCI			
				B	M	A	S/N
HORMIGÓN	61	LEVANTAMIENTO DE LOSAS POR DILATACIÓN	Losas				
	62	GRIETAS DE ESQUINA	Losas	X	X	X	
	63	GRIETAS LONG, TRANSVERSALES Y DIAGONALES	Losas		X	X	
	64	GRIETAS TIPO "D"	Losas				
	65	DAÑO AL SELLO DE JUNTURAS	Losas				
	66	PARCHES $\leq 0,50 \text{ M}^2$	Losas				
	67	PARCHES $> 0,50 \text{ M}^2$	Losas		X	X	
	68	AGUJEROS	Losas				
	69	BOMBEO	Losas				X
	70	ESCAMADURAS, MAPEO Y CUARTEADURAS	Losas				
	71	ESCALONAMIENTO	Losas	X	X	X	
	72	GRIETAS EN BLOQUE(LOSAS DESTROZADAS)	Losas	X	X	X	
	73	GRIETAS DE RETRACCIÓN	Losas				
	74	ASTILLAMIENTO EN JUNTURAS	Losas				
	75	ASTILLAMIENTO DE ESQUINAS	Losas				

Fuente: Elaboración Propia

Las curvas serán generadas según los valores de PCI y SCI emanados de la inspección actual, además de inspecciones históricas según antecedentes recopilados en estudios similares a este.

Se entenderá que la agrupación de familias; con similitudes a otros modelos de un plan de gestión de pavimentos, podrá ser extrapolada para los otros aeropuertos del país, según las condiciones de cada uno de ellos. En el presente estudio se identificará un modelo de deterioro en base a análisis de los 6 aeropuertos de componen la red primaria zona norte.

Los parámetros de agrupación considerados son:

- Clima por zona geográfica: Norte, Centro, Sur, Extremo Sur
- Operaciones (Tráfico aéreo): A, B, C, D
- Ramas: Pista, Rodajes y Plataformas
- Tipo de Pavimento: Asfalto, Hormigón, Mixto (recapado asfalto sobre hormigón)

Se estima que la nomenclatura para identificar a cada familia debe ser breve y clara, para cada uno de los parámetros a considerar. Quedando como sigue:

Tabla 3.95: Nomenclatura

NOMENCLATURA			
LETRA	AGRUPACIÓN	ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN
1RA	CLIMA	N	NORTE
		C	CENTRO
		S	SUR
		ES	EXTREMO SUR
2DA	NÚMERO OPERACIONES ANUALES	A	30.000 < NO
		B	15.000 < NO < 30.000
		C	4.000 < NO < 15.000
		D	NO < 4.0000
3RA	RAMAS	P	PISTA Y UMBRALES
		R	RODAJES Y DESAHOGOS
		PL	PLATAFORMA
4TA	TIPO PAVIMENTO	H	HORMIGÓN
		A	ASFALTO
		M	MIXTO (RECAPADO)

Fuente: Elaboración Propia



### 3.4.5.2.1.1 Factor climático

Para verificar la zona a la que corresponden los aeropuertos en estudio es necesario analizar la información de la etapa 3.1 *Características Climáticas*.

Haciendo un compilado de las variables características respecto a meteorología se tiene lo siguiente:

*Tabla 3.96: Características Meteorológicas*

AEROP	Temperatura promedio máxima media mensual (°C)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM MAX
AR	25,6	26,2	25,3	23,3	21,1	19,1	18,0	17,9	18,7	20,2	22,0	23,9	26,2
DA	25,1	25,7	24,5	22,4	20,1	18,3	17,4	17,4	18,1	19,4	21,2	23,2	25,7
FA	23,6	23,7	22,5	20,3	18,4	16,9	16,3	16,7	17,2	18,3	19,9	21,7	23,7
CF	24,9	24,7	24,4	23,6	22,2	21,7	21,1	22,6	23,5	24,4	24,9	25,2	25,2
AT	23,8	24,2	22,6	20,5	18,6	17,3	16,7	17,3	17,8	18,7	20,4	22,0	24,2
SE	21,6	21,8	20,2	18,3	16,7	15,6	15,4	15,9	16,4	17,5	18,7	20,0	21,8

AEROP	Precipitación promedio mensual (mm)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
AR	0,4	0,7	0,6	0,0	0,1	0,4	2,2	0,1	1,3	0,0	0,0	0,0	0,5
DA	0,1	0,0	0,2	1,5	0,0	0,1	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
FA	0,0	0,0	4,8	0,2	0,0	2,1	0,8	2,4	0,2	0,2	0,0	0,0	0,9
CF	0,8	3,8	7,0	0,9	1,4	1,0	3,0	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	1,6
AT	0,1	0,2	1,0	0,3	3,9	0,6	6,2	3,4	0,5	0,2	0,1	0,2	1,4
SE	0,1	0,0	0,9	0,6	19,3	24,5	22,4	13,7	5,0	3,8	0,4	0,2	7,6

AEROP	Radiación promedio solar global acumulada media mensual (Watt-Hora/m2)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
AR	6.188	6.160	5.678	4.481	3.254	2.620	2.536	3.266	4.299	5.178	5.966	6.350	4.665
DA													S/D
FA	8.041	7.465	6.725	5.371	4.265	3.779	3.752	4.538	5.608	6.683	7.669	8.229	6.010
CF	8.000	7.379	6.792	5.677	4.719	4.219	4.625	5.499	6.802	7.733	8.425	8.300	6.514
AT	7.298	6.711	5.841	4.446	3.027	3.137	3.269	4.194	4.307	5.858	5.800	6.845	5.061
SE													S/D

Fuente: Informes AZN20-ME-IN-001 para cada aeropuerto

Analizando las tablas anteriores, se puede comprobar que existe similitud respecto a las principales características climatológicas. Se visualiza que el promedio de temperatura media máxima se encuentra en un rango de 26,2 a 21,8 °C, caracterizando zonas cálidas y áridas, con inviernos frescos y secos. Las precipitaciones son escasas, con predominio entre los meses de junio y julio, siendo el aeropuerto La Florida de la Serena quien presenta mayor pluviosidad, sin que esta tenga una magnitud considerable que la diferencia de los otros aeropuertos con un promedio de 7,6mm máx versus 0,2mm mín que registra el aeropuerto Diego Aracena. Finalmente, respecto a la radiación en aquellos aeropuertos donde se cuenta con esta información, se refleja un rango promedio desde 4.600 a 6.500 aprox., estimando factores similares para el aeropuerto Diego Aracena y La Florida.

En base a lo anterior, se considera que todos los aeropuertos en estudio se clasifican como N, correspondiente a características de la zona norte del país.

En esta agrupación, el factor climático tendrá influencia básicamente en el desgaste del pavimento a raíz de la temperatura a largo plazo, con influencia en algunos deterioros tipos, entre ellos: rigidización de las juntas en pavimento de hormigón, o grietas en bloque en pavimento asfáltico. En este sentido, las precipitaciones tendrán poca influencia en el daño al pavimento.

### 3.4.5.2.1.2 Tráfico aéreo

Para agrupar a los aeropuertos en estudio según el volumen de operaciones es necesario analizar la información de la etapa 3.2 *Proyección del Tránsito Aéreo*.

Haciendo un compilado de las operaciones de peso mayor a 5.670 kg se tiene lo siguiente:



Tabla 3.97: Operaciones Totales Anuales (MTOW > 5.670kg)

AEROPUERTO	OP/AÑO
AR	8.360
DA	23.678
FA	21.002
CF	20.474
AT	6.232
SE	12.082

Fuente: Informes AZN20-DE-IN-001 para cada aeropuerto

La clasificación de la tabla de Nomenclatura, indica una separación de más de 30.000 operaciones anuales para aeropuertos categoría A, entre 30.00 a 15.000 para categoría B, entre 15.000 a 4.000 para categoría C y menos de 4.000 para categoría D.

Luego, según la tabla de cantidad de operaciones anuales, indica que existirán dos grupos de familias, B y C. En estas se considera B para los aeropuertos Diego Aracena, Andrés Sabella y El Loa, en tanto que para la clasificación C se consideran los aeropuertos: Chacalluta, Desierto de Atacama y La Florida, agrupaciones claramente identificables al movimiento actual de estos aeropuertos y que mantiene una correlación en cuanto a las características físicas, siendo de menor dimensión tanto en largo de pista como cantidad de rodajes y área de plataforma para los agrupados en categoría C versus los categoría B.

#### 3.4.5.2.1.3 Ramas

Una rama es una parte fácilmente identificable de la red y tiene una función específica. Para el Air Side, se consideran 3 ramas diferentes:

- PISTA P
- RODAJE R
- PLATAFORMA PL

Las funciones específicas van ligadas a las cargas a las que se ven sometidas y el tiempo de utilización, entre otros factores. Es así como plataforma será más solicitada en forma estática versus rodaje y pista solicitados en forma dinámica, siendo esta última además sometida a impacto de aterrizajes.

En esta agrupación se considerará pista y umbrales; en todo su ancho y largo, como una clasificación. Los rodajes ya sean paralelos a pista como transversales; en general llamados, desahogos serán clasificados en una agrupación y finalmente las plataformas formarán el tercer grupo.

#### 3.4.5.2.1.4 Tipo de Pavimento

Considerando el comportamiento diferente entre tipo de pavimentos, será necesario diferenciar las familias por esta cuarta característica. Se considerarán pavimentos:

- HORMIGÓN H
- ASFALTO A
- MIXTO M

Se considera en este último las estructuras de recapado asfáltico directamente sobre hormigón. Para los pavimentos que según información histórica mantienen hormigón o asfalto base base granular se consideran como pavimento asfáltico, ya que las capas inferiores únicamente se comportarían como capas granulares tratadas o de mayor espesor.

### 3.4.5.2.1.5 Clasificación del aeropuerto

Luego, de acuerdo a lo antes descrito, para el aeropuerto Desierto de Atacama de Copiapó se consideran los siguientes modelos, que fueron desarrollados con la información histórica ya sea de PCI como SCI de los aeropuertos que tengan igual clasificación:

Tabla 3.98: Modelos del Aeropuerto

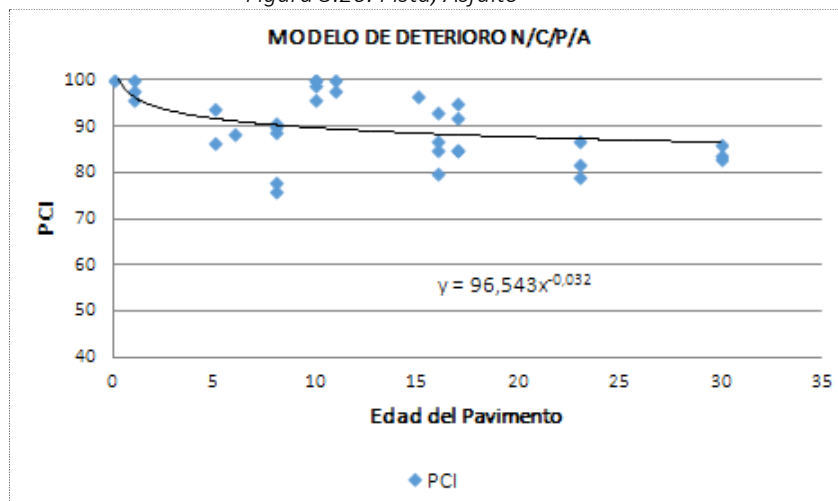
AEROPUERTO	CLIMA	OPERACIÓN	RAMA	PAVIMENTO
DESIERTO DE ATACAMA	N	C	P	A
DESIERTO DE ATACAMA	N	C	R	A
DESIERTO DE ATACAMA	N	C	PL	A
DESIERTO DE ATACAMA	N	C	PL	H

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.5.2.2 Modelos Deterioros Funcionales

- a) Modelo de deterioro funcional N/C/P/A

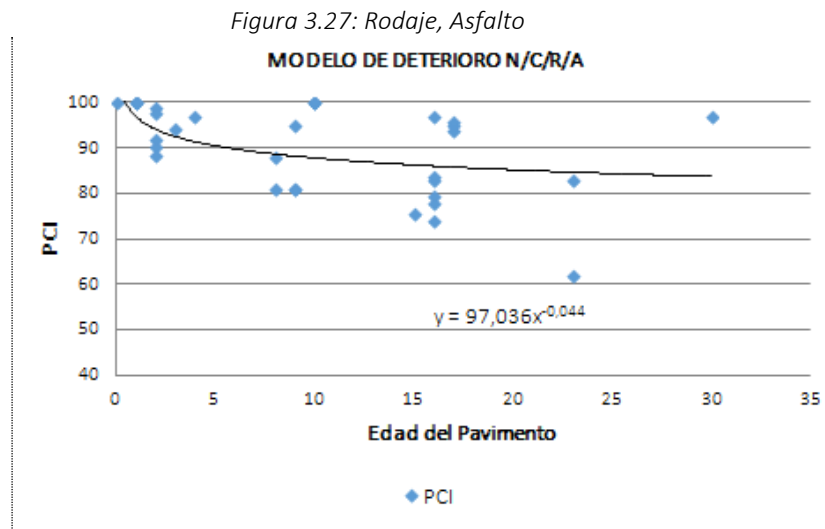
Figura 3.26: Pista, Asfalto



Fuente: Elaboración Propia

En este caso se visualiza que los pavimentos a lo largo de su vida útil no llegan a registrar valores de PCI inferiores al rango crítico ( $PCI_{crítico} < 65$ ), ello debido a las constantes conservaciones rutinarias que impiden la evolución de los daños una vez detectados.

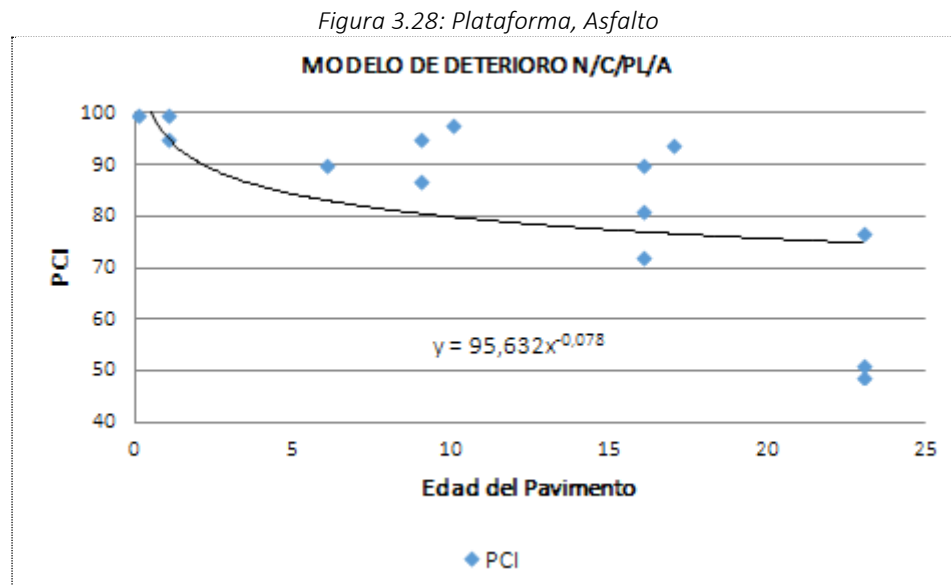
b) Modelo de deterioro funcional N/C/R/A



*Fuente: Elaboración Propia*

Según este tipo de pavimento, se registran valores concentrados sobre PCI 70, superando el rango crítico ( $PCI_{crítico} < 65$ ), salvo un caso puntual, aunque este ocurrido más allá de un horizonte de diseño esperado.

c) Modelo de deterioro funcional N/C/PL/A

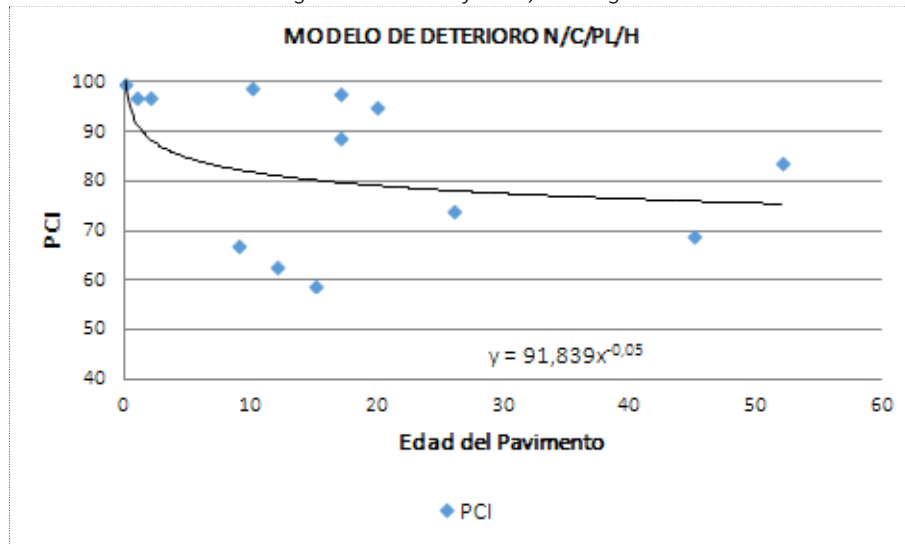


*Fuente: Elaboración Propia*

La rama según estas características de carga y tipo de pavimento, funciona; en general, similar al pavimento rígido, manteniéndose por sobre el rango crítico ( $PCI_{crítico} < 65$ ) en pavimento inferiores a 20 años, esto a pesar que este tipo de estructura es menos recomendable en plataforma, sin embargo, por el número de operaciones y el clima de baja pluviosidad, permiten un funcionamiento apropiado.

d) Modelo de deterioro funcional N/C/PL/H

Figura 3.29: Plataforma, Hormigón



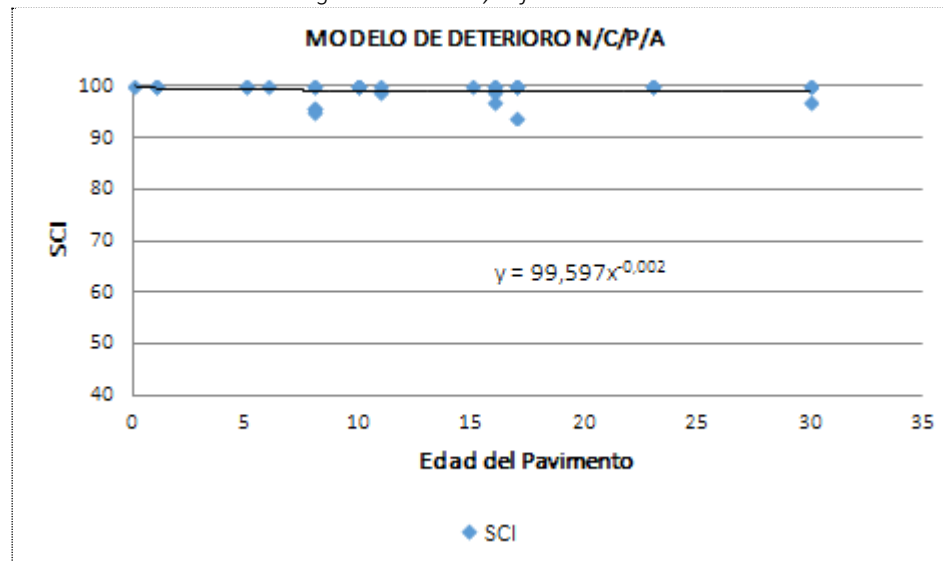
Fuente: Elaboración Propia

En este modelo se presentan valores más dispersos, algunos de ellos por debajo del rango crítico ( $PCI_{crítico} < 65$ ) dentro de un horizonte de vida útil. Es común la detección de deterioros del tipo astillamientos que se acrecientan por un inadecuado sello de juntas, y que, según la densidad de éstos, aun en severidad baja a media, influyen en una baja del índice.

### 3.4.6 Modelos Deterioros Estructurales

a) Modelo de deterioro estructural N/C/P/A

Figura 3.30: Pista, Asfalto

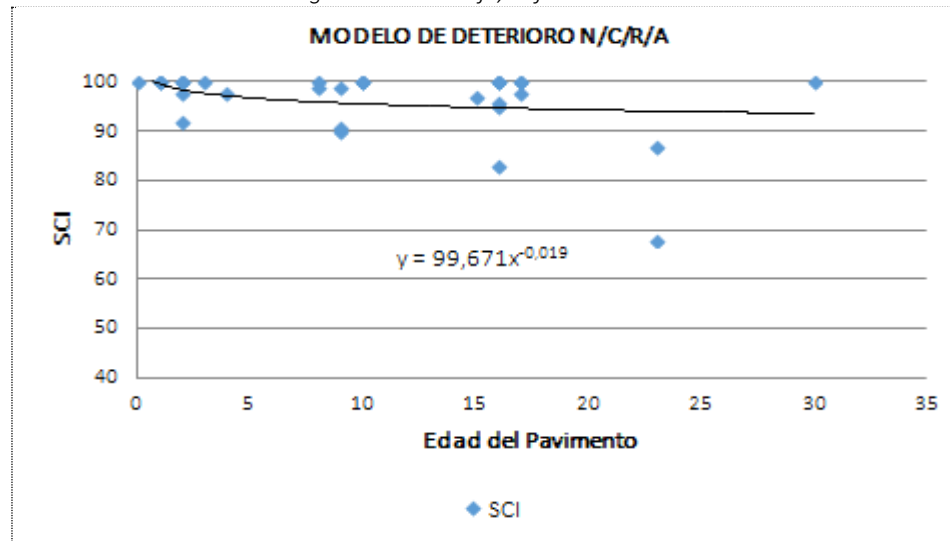


Fuente: Elaboración Propia

En este caso se visualiza que los pavimentos a lo largo de su vida útil no presentan mayores daños estructurales, considerando con esto que los diseños son capaces de soportar las cargas de las aeronaves, aun más allá de su horizonte de diseño e incluso con los cambios de flota de las aerolíneas presentes en el mercado.

b) Modelo de deterioro estructural N/C/R/A

Figura 3.31: Rodaje, Asfalto

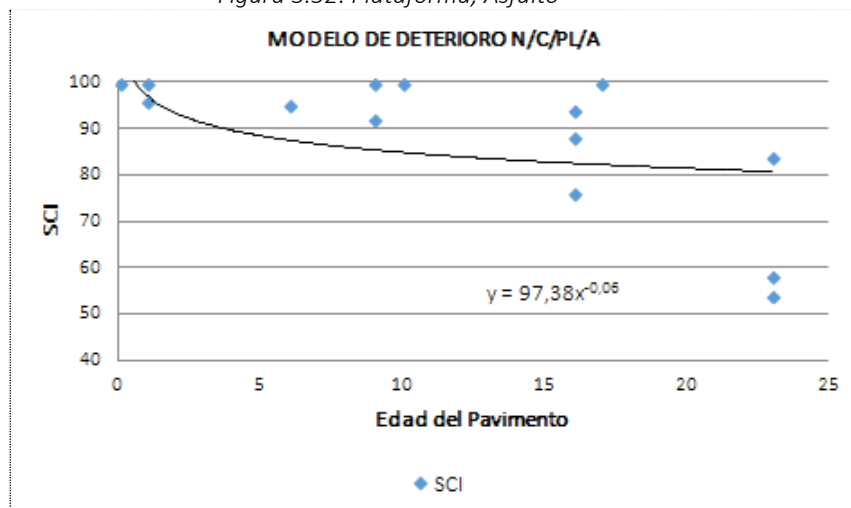


Fuente: Elaboración Propia

Para este caso, al igual que el modelo funcional, posee un rango más notorio de descenso que las otras ramas, sin que este sea representativo para indicar que el pavimento requiere una reconstrucción por daño efecto de las cargas dentro de una vida útil de pavimento esperada.

c) Modelo de deterioro estructural N/C/PL/A

Figura 3.32: Plataforma, Asfalto

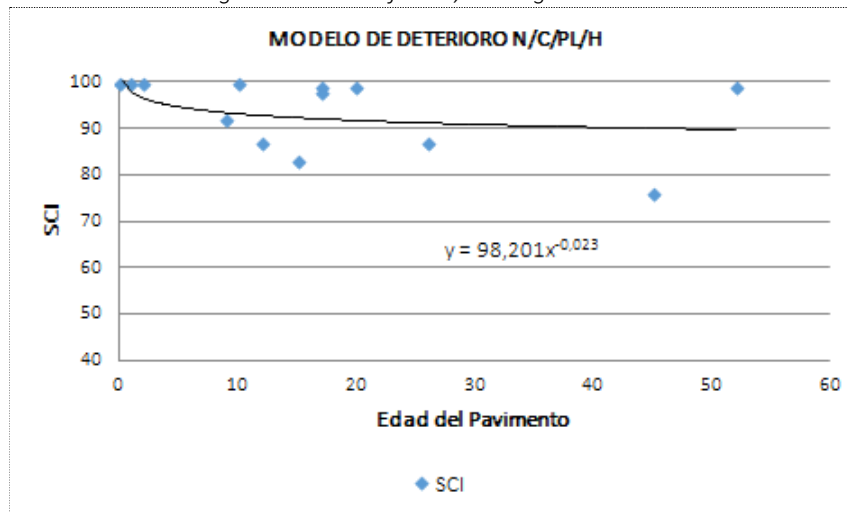


Fuente: Elaboración Propia

En este modelo, se aprecia que el pavimento tiene un comportamiento con mayor descenso respecto al pavimento rígido en zona de estacionamientos, lo que es de esperarse por las cargas puntuales aplicadas en mayor tiempo versus el tránsito de una aeronave en rodaje o pista y que puede ser resistido mejor por un pavimento rígido, evitando ahuellamientos o hundimientos.

d) Modelo de deterioro estructural N/C/PL/H

Figura 3.33: Plataforma, Hormigón



Fuente: Elaboración Propia

En comparación con su modelo funcional, en este escenario, los daños por carga son menores a los daños por clima o edad, por ende, su condición se encuentra dentro de un rango más acotado y en general con un perfecto comportamiento aun por sobre el horizonte de diseño.

#### 3.4.6.1.1 Comentarios Generales

Tal como fue mencionado anteriormente, los índices SCI en general son superiores a los valores PCI para una misma sección en igual momento de inspección. Esto a raíz que en general los pavimentos analizados no presentan daños estructurales considerables, deduciendo que los diseños permiten resistir las cargas aplicadas, aun superando su horizonte de diseño y en forma particular, aun cuando por cálculo de vida remanente se obtienen estructuras insuficientes.

Así mismo, el comportamiento funcional según los deterioros encontrados en las diversas secciones para los aeropuertos de estos modelos; recordando que se han agrupado 3 según cantidad de operaciones, tampoco muestran un descenso considerable en su índice, lo que se traduce en los apropiados planes de mantenimiento localizados que resguardan la vida útil del pavimento deteniendo el avance de los deterioros tanto en su severidad y/o cantidad, ya sea con trabajos del tipo sellos de grietas, bacheos o riegos asfálticos, entre otros.

#### 3.4.6.2 PCN

##### 3.4.6.2.1 General

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) estableció un método único para notificar la resistencia de los pavimentos para aeronaves de masa superior a 5.700 kg, relacionando Número de Clasificación de Aeronaves/Número de Clasificación de pavimentos ACN/PCN.

El ACN, Aircraft Classification Number (Número de Clasificación de Aeronaves), es un número que expresa el efecto relativo de una aeronave de peso dado sobre un pavimento con una categoría del terreno de cimentación especificada.

El PCN, Pavement Classification Number (Número de Clasificación de Pavimentos) es el número que expresa la capacidad de carga de un pavimento para un número ilimitado de operaciones.



El número de clasificación de pavimentos (PCN) notificado indicará que una aeronave con número de clasificación de aeronave (ACN) igual o inferior al PCN notificado puede operar sobre ese pavimento, a reserva de cualquier limitación con respecto a la presión de los neumáticos, o a la masa total de la aeronave para un tipo determinado de aeronave.

El código de notificación del PCN da información sobre las siguientes características:

Tabla 3.99: Nomenclatura PCN

NOMENCLATURA			
LETRA	AGRUPACIÓN	ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN
1RA	TIPO PAVIMENTO	F	FLEXIBLE
		R	RÍGIDO
2DA	RESISTENCIA AL SUELO DE SOPORTE	A	ASFALTO CBR>13, VALOR TIPO CBR=15% HORMIGÓN K>120, VALOR TIPO K=150MN/m3
		B	ASFALTO 13>CBR>8, VALOR TIPO CBR=10% HORMIGÓN 120>K>60, VALOR TIPO K=80MN/m3
		C	ASFALTO 8>CBR>4, VALOR TIPO CBR=6% HORMIGÓN 60>K>25, VALOR TIPO K=40MN/m3
		D	ASFALTO 4>CBR, VALOR TIPO CBR=3% HORMIGÓN 25>K, VALOR TIPO K=20MN/m3
3RA	PRESIÓN MÁXIMA ADMISIBLE DE NEUMÁTICOS	W	SIN LÍMITE DE PRESIÓN
		X	PRESIÓN LIMITADA A 1,50MPa
		Y	PRESIÓN LIMITADA A 1,00MPa
		Z	PRESIÓN LIMITADA A 0,50MPa
4TA	MÉTODO DE EVALUACIÓN	T	TÉCNICA
		U	EXPERIENCIA DE AERONAVES

Fuente: OACI

La determinación del PCN se realiza utilizando el programa COMFAA 3.0, y en base a lo establecido en la circular AC 150/5335-5C<sup>17</sup> "Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength-PCN".

A partir de lo anterior, se determina el PCN para los pavimentos del aeropuerto. No obstante, se estima conveniente indicar las siguientes consideraciones:

- Los valores de PCN obtenidos y presentados en este capítulo no tienen como objetivo final su publicación, sino proveer información para uso interno de la DAP.
- Se calculará el PCN para cada sección del aeropuerto, considerando igual número de coberturas en todas las secciones, independiente su utilización y año de construcción.
- Se eliminan de los cálculos las secciones para aviación general, ya que se asume una flota completa y el PCN de estas secciones resultaría muy por debajo de las otras, en desmedro de su estructura respecto del tipo de aviación para la que fue proyectada.
- En el cálculo del software COMFAA respecto al valor de k o CBR, ya sea el real o el equivalente, se adopta el mayor valor entre ambos. Esto con el fin de no castigar los valores de la estructura y la clasificación de ésta.
- En las secciones donde el valor de PCN resulte muy por sobre el valor de ACN, podría considerarse el mayor ACN de las aeronaves de la flota proyectada.
- Adicionalmente se incluirá el cálculo de PCN de las nuevas estructuras resultantes según análisis de vida residual.

#### 3.4.6.2.2 Resultados PCN

Tabla 3.100: Espesores

SECCIÓN	TIPO DE PAVIMENTO	AÑO CONST.	ESPESOR (in)				E psi	R <sub>f</sub> psi
			A	H	B	SB		
PI-1	Flexible	2004	4,0		8,0	8,0	200.000	
PI-2	Flexible	2004	4,0		8,0	8,0	200.000	
U17-1 (N)	Flexible	2004	4,0		8,0	8,0	200.000	
U35-1 (S)	Flexible	2004	4,0		8,0	8,0	200.000	
RB-1	Flexible	2004	4,0		8,0	8,0	200.000	

<sup>17</sup> Se trabaja con versión AC 150/5335-5C, ya que la versión 5D aun no es formalizada y está en formato de borrador dentro de la página de la FAA.



SECCIÓN	TIPO DE PAVIMENTO	AÑO CONST.	ESPESOR (in)				E psi	Rf psi
			A	H	B	SB		
RC-1	Flexible	2004	4,0		8,0	8,0	200.000	
RD-1	Flexible	2004	4,0		8,0	8,0	200.000	
PL-1	Rígido	2004		13,2		6,0		700
PL-2	Flexible	2004	4,0		8,0	8,0	200.000	
HOR NUEVO	Rígido			16,4	6,0			700

Fuente: Elaboración Propia

En base a lo antes descrito se tendrá, de acuerdo a los cálculos computacionales:

Tabla 3.101: Valores Obtenidos

Secciones	Tipo de Pavimento	Espesor Total in	Espesor Equivalente in	K/CBR	K/CBR	N° PCN	N° ACN	PCN	VR
				Pci/%	equivalente Pci/%				
PI-1	Flexible	20,0	16,2	26	25	82,7	51,5	83 F A Y T	>20
PI-2	Flexible	20,0	16,2	26	25	82,7	51,5	83 F A Y T	>20
U17-1 (N)	Flexible	20,0	16,2	26	25	82,7	51,5	83 F A Y T	>20
U35-1 (S)	Flexible	20,0	16,2	26	25	82,7	51,5	83 F A Y T	>20
RB-1	Flexible	20,0	16,2	26	25	82,7	51,5	83 F A Y T	>20
RC-1	Flexible	20,0	16,2	26	25	82,7	51,5	83 F A Y T	>20
RD-1	Flexible	20,0	16,2	26	25	82,7	51,5	83 F A Y T	>20
PL-1	Rígido	19,2	13,2	363	356	53,0	62,1	53 R B W T	0
PL-2	Flexible	20,0	16,2	26	25	82,7	51,5	83 F A Y T	>20
HOR NUEVO	Rígido	22,4	16,4	363	374	87,4	62,1	87 R B W T	20

Fuente: Elaboración Propia

En general, el valor inferior de PCN versus ACN concuerda con una vida residual insuficiente.

Cabe mencionar que el aeropuerto tiene un PCN publicado en el AIP igual a 48 F/A/W/T para pista y rodajes, en tanto que para plataforma será de 39/F/A/X/T.

De acuerdo a lo anterior se podrá entregar un valor representativo por rama, siendo este:

Tabla 3.102: Valores PCN por Rama

Secciones	PCN
Pista	83 F/A/Y/T
Rodajes	83 F/A/Y/T
Plataforma	53 R/B/W/T

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.6.3 Análisis aviación general

Los cálculos de los ítems anteriores descartaron incluir pavimentos de aviación general, por estar sometidos a cargas muy inferiores respecto al resto y las estructuras son de menor espesor. Sin embargo, a continuación, se incluye un análisis para estas zonas de aviación general, que están comprendidas por plataforma y en algunos casos rodajes asociados a esta.

Cabe mencionar que los softwares están prácticamente diseñados para aviación mayor, por lo que en caso de restringir e imposibilitar cálculos por estructura insuficiente, se indicará en el caso que corresponda.



### 3.4.6.3.1 Datos de Entrada y Resultados

- a) *Valor de Subrasante:* Se utilizará el mismo indicado anteriormente, siendo este CBR=26%
- b) *Operaciones:* No se considera necesario un desglose por aeronave. El total de despegues promedios anuales se le asignarán a un tipo de aeronave de peso promedio inferior a 5,6ton, quedando como sigue:

OPERACIÓN	DESPEGUES	MTOW	MTOW	AERONAVE FAARFIELD
		(ton)	(lb)	
MENORES	514	4	8.800	S10

Fuente: Informe de Demanda: AZN20-AT-DE-IN-01

- c) *Características de Pavimento:* Las secciones consideradas son:

SECCIÓN	TIPO DE PAVIMENTO	AÑO CONSTRUCC.	UN	ESPESOR				E	UN
				A	H	B	SB		
PL-3	Flexible	2014	cm	5		10	20	1.379	MPa
			in	2		4	8	200.000	Psi

- d) *Vida Residual:* Según cálculo en software FAARFIELD se obtiene una vida muy por sobre los 20 años. Ante la imposibilidad de incluir un espesor de 5cm para pavimento asfáltico, se indica una capa superficial indefinida con un módulo elástico del asfalto.

Sección	Año Constr.	PCI Sección	Espesor				Vida Residual Años	Estructura Requerida			Condición
			cm					cm			
			A	H	B	SB		A	RA	H	
PL-3	2014	95	5		10	20	>20				Estructura Suficiente PCI Excelente

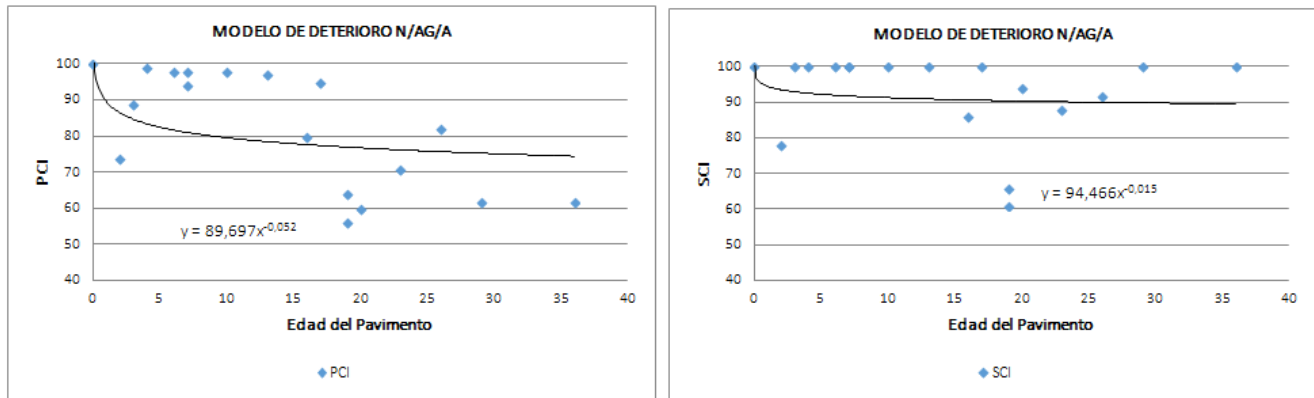
- e) *PCN:* Al incluir la estructura y convertirla en espesor equivalente, este arroja un valor muy pequeño, indicando que la estructura es potencialmente insuficiente para el análisis, de ello resulta un PCN inferior al ACN de la aeronave.

Sección	Tipo de Pav.	Espesor Total	Espesor Equivalente	K/CBR	K/CBR equivalente	N° PCN	N° ACN	PCN	VR
		in	in	pci/%	pci/%				
PL-3	Flexible	14	0.6	26	25	0,2	3,3	- F A Y	>20

- f) *Modelo de Deterioro:* Para este análisis y considerando una serie de particularidades de estas secciones es que a diferencia de aviación comercial no se han dividido por número de operaciones ni por rama. Se estima suficiente agrupar por clima (N) y tipo de pavimento, que en general es asfalto (A), para todas las secciones de aviación general (AG) de los 6 aeropuertos que componen la zona norte del país.

Luego, se han consolidado los datos de inspecciones de pavimentos y se ha elaborado un único modelo, denominado N/AG/A para datos de PCI y otro modelo para SCI, los que se incluyen a continuación.

Figura 3.34: Modelo Aviación General



Fuente: Elaboración Propia

Tal como en modelos de aviación comercial, el índice PCI es inferior al SCI, indicando que el pavimento se ve sometido fundamentalmente a daños por clima o edad versus daños estructurales. De este último se puede ver que aun más allá del horizonte esperado de diseño el pavimento mantiene un índice cercano a 90, en tanto que con el índice PCI este tiene valores cercanos al crítico al rondar los 20 años.

### 3.5 EVALUACIÓN DEL ESTADO DE PAVIMENTOS POR MÉTODO PCI

#### 3.5.1 Introducción

El presente capítulo forma parte de la Sub Etapa 3.5 del estudio, y contiene una evaluación funcional completa de todos los pavimentos del área de movimiento del aeropuerto, realizada mediante el método indicado en la normativa ASTM D5340 (Estándar Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys) para determinar el índice PCI (Pavement Condition Index).

##### 3.5.1.1 General

El aeropuerto Desierto de Atacama está ubicado a 22 kilómetros al sur-este de la ciudad de Caldera y a 52 Km. al nor-oeste de la ciudad de Copiapó, construido en el año 2004.

A continuación, se indican los sectores del aeropuerto, anteriormente descritos, contemplando que al igual que para otros análisis contenidos en este informe, se estima necesario un capítulo autosuficiente:

- Pista: 2.200 m de longitud, incluidos sus umbrales 17-35 de orientación Norte-Sur respectivamente y 45 m de ancho más márgenes.
- Rodajes Posee un rodaje paralelo a la Pista denominado Delta que une dos calles de desahogo denominadas Bravo y Charlie, todos ellos de un ancho de 23 m más márgenes.
- Plataformas: Se compone de una Plataforma para la aviación comercial de 27.898 m<sup>2</sup> y otra para aviación general de 6.400 m<sup>2</sup>.
- Tipo de Pavimento: Todos los pavimentos antes mencionados son de asfalto, exceptuando un sector de la plataforma de aviación comercial, que se encuentra más próxima al terminal de pasajeros, la que es de hormigón, con losas de 4 x 3,55 m.
- Operaciones: En este aeropuerto opera la aviación comercial y aviación general.



A continuación; y a modo de reseña, se describen los criterios para la definición de las secciones características y unidades de muestra.

### 3.5.1.2 Criterios de división de zonas PCI

#### 3.5.1.2.1 *Definición de la Red Pavimentada*

El primer paso para establecer el sistema de administración de pavimentos será la identificación de la red o las redes y dividir cada una en ramas y secciones manejables. Para esto es primordial contar con un plano detallado de las zonas a evaluar.

Se considerará en este caso como red la zona Air Side del aeropuerto. Una vez establecida la red se definirán las ramas, las secciones y las unidades de muestra.

#### 3.5.1.2.2 *Definición de Ramas (Branches)*

Una rama es una parte fácilmente identificable de la red que tiene una función específica. Para el Air side, se considerarán ramas diferentes la pista, los rodajes, la plataforma y los umbrales.

#### 3.5.1.2.3 *Definición de las Secciones*

Debido a que una rama es típicamente una gran unidad de pavimento de la red, generalmente no tiene las mismas características a lo largo de toda su extensión. Por esta razón, las ramas serán divididas en componentes más pequeñas denominadas secciones. Cada rama consistirá en, a lo menos, una sección, pero podrá contener más si las características del pavimento varían a lo largo de la misma. Los factores a considerar para dividir una rama en secciones serán la estructura del pavimento, el tráfico al que esté sometido, la edad que tenga o cualquier otra característica que haga que una parte de la rama sea claramente diferente del resto.

#### 3.5.1.2.4 *Definición de las Unidades de Muestra*

Es la división más pequeña que se realiza al pavimento dentro de una sección, con el solo propósito de efectuar la inspección.

Las unidades de muestra se definirán como un área de alrededor de 450 m<sup>2</sup> en superficies asfálticas y 20 +/-8 losas para pavimentos de hormigón. Las UM podrán ser menores o mayores dependiendo de la configuración del terreno, sin ser demasiado diferentes entre unidades de una misma sección.

#### 3.5.1.2.5 *Medición de la Condición del Pavimento*

Una importante característica de un sistema de administración de pavimentos es la habilidad de determinar la condición actual y predecir la condición futura de los pavimentos de la red. Para esto se debe tener un sistema confiable, objetivo y repetible que permita determinar la condición del pavimento.

El sistema a utilizar será el índice PCI (Pavement Condition Index), desarrollado por el U.S Army Corps of Engineers, y el software MICRO PAVER, todo ello de acuerdo a la norma ASTM D 5340-04e1 Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Survey.

Una vez definidas las Secciones y Unidades de Muestra se prepararán planos en donde se muestre el tamaño y la ubicación de las mismas, de tal manera que se puedan plasmar estas delimitaciones en terreno y además se puedan ubicar para futuras inspecciones.



Se demarcarán con pintura los límites de las Unidades de Muestra (UM) en terreno, numerándolas en el extremo superior de cada una de ellas. Esta labor será ejecutada de manera pulcra, no llamativa y presentable. Cada UM tendrá asociada una ficha de inspección.

Una vez realizada la demarcación, cuidando de no interferir con el tráfico normal de las vías a evaluar, se comenzará con la inspección, que corresponderá al trabajo de terreno en el cual se identificarán los daños teniendo en cuenta el tipo, severidad y extensión de los mismos en cada Unidad de Muestra. Esta información se registrará en formatos adecuados para tal fin.

La evaluación se realizará sobre el 100% de las Unidades de Muestra, teniendo así la condición puntual de cada una de ellas, y pudiendo controlar su evolución a lo largo del tiempo.

Los procedimientos usados para inspeccionar varían de acuerdo a la superficie de pavimento, y son los que se describen en los apartados siguientes.

#### 3.5.1.2.6 *Pavimentos Asfálticos*

Las secciones de pavimento flexible se han inspeccionado de acuerdo al siguiente criterio:

- Procedimiento Tradicional: Procedimiento empleado para inspeccionar la rama de plataforma.
- Procedimiento Mecanizado: Procedimiento empleado para inspeccionar las ramas de pista, umbrales y rodajes.

##### 3.5.1.2.6.1 Procedimiento tradicional

Se incluyen los pavimentos asfálticos propiamente dichos y los recapados asfálticos sobre pavimentos de hormigón.

###### a) *Equipo*

Los inspectores dispondrán de un odómetro o huincha para medir la longitud y área de los deterioros, una regla para medir la profundidad de los ahuellamientos o depresiones (en caso de ser necesario) y el Manual de Deterioros.

###### b) *Procedimiento*

Una Unidad de Muestra será inspeccionada midiendo el tipo y la severidad del deterioro de acuerdo al manual, anotando los datos en la ficha de inspección correspondiente. Se deben seguir perfectamente las definiciones del manual cuando se inspecciona. Se usa una ficha para cada unidad de muestra. Los códigos de los deterioros corresponden a la identificación usada por el sistema MicroPaver.

Se indica que durante el levantamiento PCI mediante el método tradicional, se inspecciona el 100% de las unidades de muestra, de cada sección característica que conforme la Plataforma

##### 3.5.1.2.6.2 Procedimiento mecanizado

Este procedimiento fue elaborado por la empresa APSA, utilizando un vehículo terrestre de conducción no automática, adaptado con cámaras y láser que captan información.

###### a) *Equipo*

El equipo Laser Crack Measurement System que se utilizó, se encargó de registrar un testimonio visual de los distintos deterioros existentes en la superficie del pavimento mediante imágenes. Las cuales posteriormente permiten identificar el tipo, severidad y extensión de los deterioros, para finalmente realizar el cálculo del PCI. El equipo utilizado es el LCMS, un equipo que realiza un escaneo en 3 dimensiones a la superficie del pavimento de los defectos que se traducen en:



- Grietas y fisuras
- Bacheos
- Ahuellamientos

Los demás deterioros son detectados en complemento con la grabación de video georreferenciada de alta resolución. Además de su precisión destaca la mínima interrupción de las pistas, pues mide a cualquier velocidad entre 0 y 120 km/hora y en un único recorrido tiene la capacidad de realizar la evaluación de varios indicadores, lo que reduce considerablemente los riesgos en seguridad vial y las molestias a los usuarios. (Nota: En este rango de velocidad, la resolución de la imagen obtenida con los laser no se ve afectada).

Debido al principio de funcionamiento del equipo de rayos láser, no es posible realizar trabajos cuando la superficie a evaluar este húmeda o se estén presentando lluvias. Esto debido que el agua interfiere con el láser generando un levantamiento erróneo de la información. De igual manera se sugieren que los sectores a evaluar se encuentren limpios y expeditos de manera que no afecte los resultados obtenidos.

#### *b) Procedimiento*

Al igual que con el procedimiento tradicional, previo a realizar las mediciones de terreno se requiere disponer de la definición de las UM. Para el levantamiento de las imágenes se divide la superficie a medir en secciones de ancho 4 metros y el largo correspondiente para cubrir cada UM. En caso de tener UM irregulares se debe delimitar en forma provisoria sobre la superficie del pavimento y sirven como guía para el conductor del vehículo de medición. La delimitación se define previamente ya sea con cintas adhesiva, cono, lenteja u otro elemento. Las secciones posteriormente se traslapan para tener la imagen completa de la UM.

Para el levantamiento de la información de deterioros tanto en las calles de rodaje como en la pista, se realiza previa a la medición una definición de la logística general y de cada pasada con el fin de levantar la totalidad de dichas secciones o tener una cobertura del 100% de las imágenes, de manera rápida, eficiente y precisa. En general, y dependiendo del método de referencia utilizado, lo recomendable es partir desde una referencia física bien definida, estas pueden ser la línea del eje o las líneas de borde.

Una vez obtenidas las imágenes de los pavimentos se realiza el cálculo del PCI de manera semiautomatizada. A continuación, se describe el paso a paso de este proceso, indicando los softwares y los productos de cada uno de los pasos:

- Procesamiento con Software LCMS:

Análisis de reconocimiento automatizado de deterioros (principalmente grietas y deformaciones) con base en el levantamiento en 3 dimensiones de los pavimentos. Los demás deterioros se detectan a partir de las imágenes de video, que complementan esta medición. El software, con configuración previa de los parámetros, determina la severidad de las grietas de acuerdo al ancho y la tipología según su distribución en el área auscultada.

En lo que respecta a los archivos de salida del equipo, esta entrega distintos tipos de salidas gráficas. Las que se utilizan en el procedimiento PCI son las del tipo Overlay que trae la información del agrietamiento en escala de colores según la severidad, además de las longitudes y áreas correspondientes.

- Construcción del Layout completo:

Una vez obtenidas las imágenes overlay de toda el área a inspeccionar, se procede a unir las mediante un software de procesamiento fotográfico comercial. Posteriormente se procederá a delimitar cada UM, para lo cual, en este caso, se contará con el plano en AutoCAD de las UM.

- Montaje de la capa de delimitación sobre la capa fotográfica:

Por medio del software Paver se realiza el montaje de la capa de delimitación de las UM y la capa de fotografías. Este software genera un archivo con todos los atributos que es exportable al segundo software de proceso para realizar la monografía.

- Monografía de deterioros:

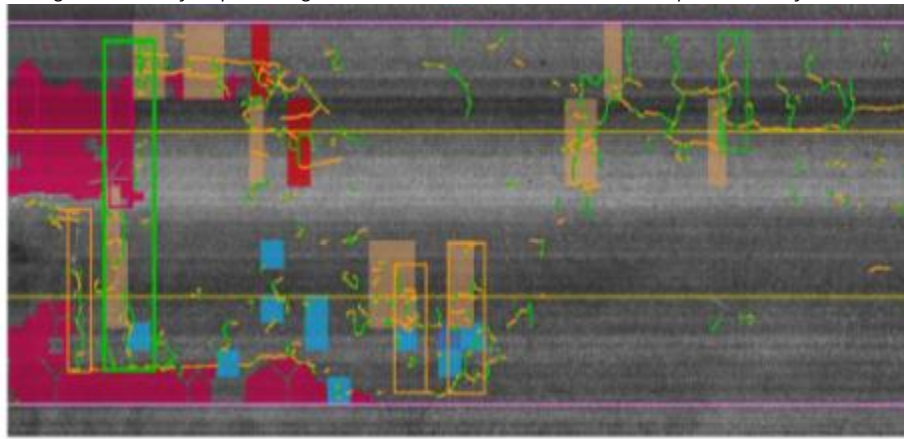
Utilizando el Software Paver Image Inspector, se reconocen manualmente los deterioros presentes en el pavimento para calcular el PCI de aeropuertos y vías de acceso. Es importante resaltar que este software comparte el origen con el software Paver lo que permite migrar los resultados de una manera ágil y rápida, además de garantizar que el cálculo de PCI se realice de acuerdo a los estándares internacionales. También se cargan las imágenes del video frontal para realizar una monografía manual de los deterioros identificados automáticamente, completándolos con aquellos que no son detectables de manera automática, como lo son los deterioros que no presenta profundidad 3D, siendo estos:

- 42 afloramiento de asfalto, exudación (X1.3)
- 46 erosión por chorro jet (X1.7)
- 49 derrame de aceites solventes (X1.10)
- 51 agregados pulidos (X1.12)

La siguiente figura es un ejemplo de cómo se presentan las grietas marcadas según la severidad de las mismas. En este ejemplo, las grietas se clasificaron de acuerdo a los siguientes criterios:

- Grietas de severidad baja: En color verde de 1 a 6 mm de ancho.
- Grietas de severidad media: En color naranja de 6 a 18 mm de ancho.
- Grietas de severidad alta: En color rojo mayores a 18 mm de ancho o mayores a 6 mm y que puedan generar FOD.
- Rectángulos color rojo: Piel de cocodrilo.
- Rectángulos color fucsia: Desprendimientos de áridos severidad media.
- Rectángulos color azul: Desprendimientos de áridos severidad baja.
- Líneas verticales amarillas y fucsias guías para el proceso de evaluación.

*Figura 3.35: Ejemplo imagen con detección de deterioros en pavimento flexible*



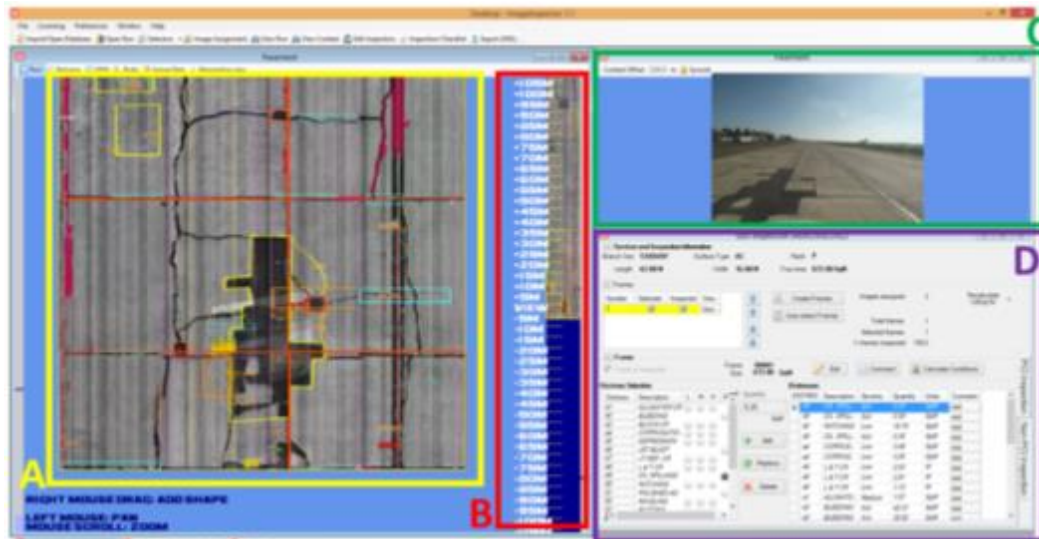
*Fuente: Elaboración propia*

Estos criterios para clasificar severidad pueden ser distintos según requerimiento de cada proyecto, ya sea para pavimentos viales como para pavimentos aeroportuarios. Del mismo modo, los anchos y los colores empleados para resaltar las grietas se definen según requerimiento del mandante para facilitar el cálculo posterior de PCI con el software especializado. Una vez las imágenes se encuentran con los deterioros marcados según su severidad se realiza la monografía de deterioros empleando el software Paver Image Inspector.

En la siguiente figura se presenta el escritorio del software Image Inspector sobre un proyecto genérico. Se puede observar en el costado izquierdo (rectángulo amarillo A), la imagen previamente procesada por LCMS, lo que facilita el reconocimiento de algunos deterioros. Inmediatamente al costado derecho (rectángulo en rojo B) se muestra el layout completo de toda la pista o calle de rodaje levantada con la leyenda VIEW, se muestra la sección que se tiene a la vista. En la parte superior derecha (rectángulo verde C), se presenta la imagen del video frontal tomado en el momento de la medición, esta imagen es georreferenciada, al igual que la imagen de LCMS, por lo tanto y como se puede apreciar, ambas coinciden espacialmente, esto permite el reconocimiento de algunos deterioros que no son identificados automáticamente

por LCMS. Finalmente, en la parte inferior derecha (rectángulo morado D), se tiene el menú necesario para marcar manualmente los deterioros que definirán el nivel de PCI de la UM respectiva.

Figura 3.36: Software Paver Image Inspector



Fuente: Elaboración propia

Una vez que se ha determinado la monografía de daños completa en Image Inspector se determina el PCI por cada UM, se genera un archivo de proceso xml que se exporta al software Paver, con el cual se vuelve a cruzar la información geográfica y se asigna a cada UM la monografía de daños y el valor del PCI de cada una de ellas. En esta etapa se pueden generar distintos reportes, en forma de tablas y también en forma gráfica.

Queda claro que la medición del pavimento asfáltico implica una dificultad extra en comparación a la inspección de hormigón. En esta última bastará con reconocer el tipo de defecto y severidad dentro de una losa, no necesitando indicar su longitud o área afectada, lo que induce que el post proceso de reconocer los defectos; luego de armar la ortofoto; es simple. Así mismo, el color del pavimento de hormigón es más claro en comparación con un pavimento de asfalto, por lo que los deterioros son identificables a simple vista a la altura a la que se toman las fotografías para este proceso.

Para el caso del pavimento asfáltico, el post proceso de reconocimiento de daños involucra mayor dificultad, tanto para el cálculo de áreas afectadas, como para definir las severidades de los deterioros, los que deben identificarse y contabilizarse en forma separada de acuerdo a su magnitud, severidad, tipo, no bastando; como en el caso del hormigón, indicar que únicamente existen. Es por ello, que se hace más necesario un post proceso automatizado o semiautomatizado, que ayude con la complejidad de identificar y medir los defectos presentes en el pavimento en estudio con igual criterio como si el diagnóstico se realizara in situ, y sin que en una misma área se contabilicen dos deterioros que se encuentran uno sobre el otro.

Las consideraciones o criterios adoptados para la definición de los deterioros en pavimentos (asfáltico y hormigón) dependerán en gran medida de las variables que se consideren para el análisis y también de la experiencia de los profesionales que desarrollarán el trabajo. A mayor experiencia de los profesionales y se evalúe con mayor meticulosidad, se disminuye el rango de incertidumbre o subjetividad, de la misma manera que desarrollándolo de la manera tradicional.

Respecto a los valores de deformaciones detectados por el equipo, los mismos son producto de la transición entre juntas longitudinales presentes en los distintos aeropuertos, por lo que para términos de la evaluación del PCI estos valores no fueron considerados.



También existen sectores donde se presentan juntas de construcción selladas que el equipo LCMS detecta como grietas de alta severidad debido al desnivel existente entre el sello y el pavimento asfáltico, para efectos del presente estudio, dichas juntas al encontrarse selladas se consideraron de baja severidad.

Se indica que para el levantamiento PCI Nocturno mediante el método mecanizado, se mantuvo la misma metodología de medición.

#### 3.5.1.2.7 Pavimentos Rígidos

Las secciones de pavimento rígido fueron inspeccionadas de forma tradicional.<sup>18</sup>

##### a) Equipo

Los inspectores dispondrán de un odómetro o huincha para medir la longitud y área de los deterioros, una regla para medir la profundidad de los ahuellamientos o depresiones (en caso de ser necesario) y el Manual de Deterioros.

##### b) Procedimiento

La inspección se realizará anotando todos los deterioros encontrados en cada losa, en la hoja de inspección correspondiente.

Se codificarán los datos resultantes de las verificaciones e inspecciones de terreno de acuerdo a MicroPaver, se verificará que los datos almacenados corresponden a los datos de terreno y se tendrá cuidado para asegurar éstos siguen una secuencia que evite duplicaciones u omisiones, y proporcionan un producto final libre de errores y completo para iniciar las operaciones de administración del pavimento en el MicroPaver.

Se indica que durante el levantamiento PCI mediante el método tradicional, se inspecciona el 100% de las unidades de muestra, de cada sección característica que esté compuesta por pavimentos de hormigón presente en Pista, Rodajes y Plataformas.

#### 3.5.1.3 Definición de las secciones del aeropuerto Desierto de atacama

Considerando el criterio anterior para la subdivisión de las secciones, se tiene una gran cantidad de divisiones tanto en pista, como rodajes y plataforma, debido a las ubicaciones donde se encuentran, en cuanto si son continuamente sometidas a cargas versus áreas de bordes, además de conservaciones parciales a lo largo de su vida y los tipos de pavimentos.

Se analizó la información existente de estudios similares, con el fin de estudiar la factibilidad de continuar con las denominaciones por sección.

##### a) Pista y Umbrales:

La pista se divide en 2 secciones más los umbrales.

- PI-1 y PI-2: Son los pavimentos que se encuentran entre los umbrales, van entre los km 0.120-2.2080. Corresponden a pavimentos asfálticos. PI-1 es la zona central de 15m, más sometida a cargas, mientras que PI-2 serán las zonas de los costados, también de 15m de ancho.
- U17: Pavimento asfáltico, la sección U17 data de 2004 y se extiende entre los km 0.000-0.120.

<sup>18</sup> Esto a pesar que la cancha de prueba fue desarrollada por medio de vuelo RPAS, obteniendo una fotografía aérea desde donde se inspeccionó en gabinete. Sin embargo, los levantamientos de la red primaria no fue posible llevarlos a cabo por este medio por cuanto DGAC impuso una restricción (en enero 2021) de autorización para vuelos no tripulados únicamente para empresas certificadas. Se consultó por estas empresas (2 en el país al momento de los trabajos) con las que no fue posible contacto. Sin embargo, a lo anterior, la auscultación desarrollada en forma tradicional abarcó todas las secciones de hormigón del aeropuerto, inspeccionando una a una cada losa por sección.

- U35: Pavimento asfáltico, la sección U35 data de 2004 y se extiende entre los km 2080-2200.

b) Plataforma:

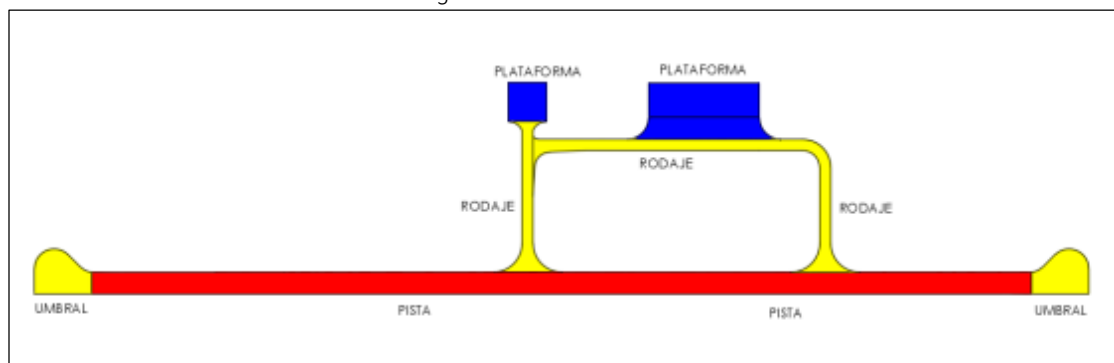
La componen 2 secciones diferentes, 1 de pavimento rígido y 1 de pavimentos flexibles:

- PL-1: Corresponde a plataforma comercial construida en hormigón y data del año 2004.
- PL-2: Plataforma de asfalto extensión de plataforma comercial, construida en el año 2004.
- PL-3: Plataforma aviación general construida en asfalto en el año 2004.

c) Rodajes:

- RA: Rodaje Bravo de asfalto, datado de 2004 y conecta perpendicularmente pista con rodaje Delta.
- RB: Rodaje Charlie de asfalto, datado de 2004 y conecta perpendicularmente pista con plataforma aviación general y rodaje Delta.
- RC: Rodaje Delta, también de asfalto, conecta paralelamente con plataforma comercial y perpendicular con rodajes Bravo y Charlie.

Figura 3.37: Ramas Air Side



Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.2 Condición De Los Pavimentos

La evaluación de los pavimentos se realizó dividiendo las áreas en zonas características y cada una de ellas en Unidades de Muestra, siendo todas inspeccionadas en su totalidad (100%).

Las secciones que se han considerado a la hora de dividir el aeropuerto son las que se indican en la tabla y figura expuestas a continuación.

Tabla 3.103: Secciones Air Side

SECCIÓN	UBICACIÓN	TIPO PAVIMENTO	ESPESOR (cm)				AÑO CONSTRUCCIÓN
			A	H	B	SB	
PI-1	Pista Centro	Asfalto	10		20	20	2004
PI-2	Pista Bordes	Asfalto	10		20	20	2004
UN-17	Umbral Norte	Asfalto	10		20	20	2004
US-35	Umbral Sur	Asfalto	10		20	20	2004
RB-1	Rod. Bravo	Asfalto	10		20	20	2004
RC-1	Rod. Charlie	Asfalto	10		20	20	2004
RD-1	Rod. Delta	Asfalto	10		20	20	2004
PL-1	Plataforma Comercial	Hormigón		33		20	2004
PL-2	Plataforma Comercial	Asfalto	10		20	20	2004
PL-3	Plataforma General	Asfalto	5		10	20	2004

Fuente: Elaboración Propia (Extracto informe AZN20-AT-GN-IN-01)

Donde:

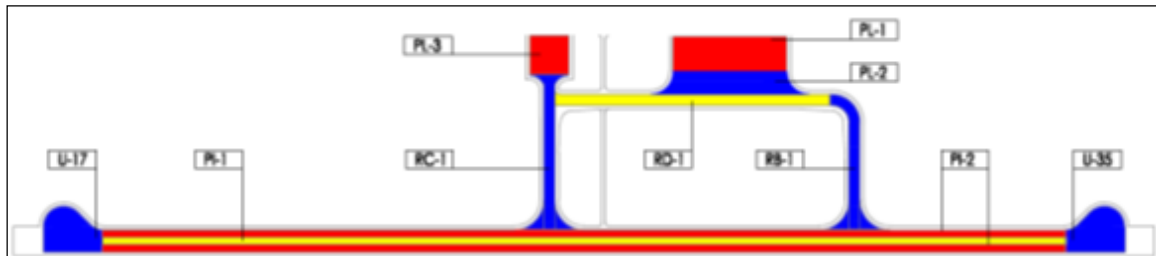
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>H</b>	<b>SB</b>
Asfalto	Base	Hormigón	Subbase

Fuente: Elaboración Propia

Observación:

- El ancho y largo, tanto para hormigón como para asfalto, corresponderá al sentido de avance de la inspección.

Figura 3.38: Secciones Air Side



Fuente: Elaboración Propia

Después de evaluar visualmente los pavimentos del aeropuerto, e ingresar los datos al programa Micro Paver del US Army Corps of Engineers versión 7.0.11 se obtuvo la calificación de cada unidad de muestra, sección y área total del aeropuerto.

Se recuerda que el índice de PCI va desde un valor de 100 (pavimentos nuevos) hasta llegar a 0, que representa un pavimento en condiciones de falla. El programa computacional asigna un valor de acuerdo al tipo de deterioro, severidad y densidad, extrapolando los valores para cada zona característica evaluada. A continuación, se presenta la tabla con los rangos de PCI y su correspondiente estado.

Tabla 3.104: Rangos PCI

Rango PCI	Clasificación Pavimento ASTM	Clasificación Pavimento DAP
86-100	Excelente	Adecuado
71-85	Muy Bueno	
56-70	Bueno	En degradación
41-55	Regular	Insatisfactorio
26-40	Malo	
11-25	Muy Malo	
0-10	Falla	

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, se ha incluido una herramienta que permite evaluar la condición estructural de los pavimentos, siendo este el indicador SCI (Structural Condition Index), que se obtiene de manera similar al indicador PCI (Paviment Condition Index), pero que considera una menor cantidad de deterioros, asociados principalmente a problemas estructurales de las carpetas de rodado, donde influye la cantidad y severidad para disminuir el índice.

A continuación, se incluyen los deterioros que afectan al índice SCI y en que niveles de severidad:

Tabla 3.105: Deterioros del SCI

Tipo Deterioro	Código	Tipo Pavimento	Severidad			
			B	M	A	S/N
Grietas tipo piel de cocodrilo	41	Asfalto	X	X	X	
Depresiones	45	Asfalto	X	X	X	
Grietas longitudinales y transversales	48	Asfalto			X	
Bacheos o Parches	50	Asfalto		X	X	
Ahuellamiento	53	Asfalto	X	X	X	
Grietas por Resbalamiento	55	Asfalto				X
Grietas de esquina	62	Hormigón	X	X	X	
Grietas longitudinales, transversales y diagonales	63	Hormigón		X	X	
Parches mayores	67	Hormigón		X	X	
Bombeo	69	Hormigón				X



Tipo Deterioro	Código	Tipo Pavimento	Severidad			
			B	M	A	S/N
Escalonamiento	71	Hormigón	X	X	X	
Grietas en bloque, losas destrozadas	72	Hormigón	X	X	X	

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a este índice, los pavimentos presentan un nivel superior al PCI, no estando presente en muchos de ellos daños estructurales, sino daños en su superficie y funcionalidad.

En el Anexo N° 1 se presentan los diferentes tipos de deterioros considerados, tanto para pavimentos de hormigón como de asfalto, y que influirán en la determinación del índice de PCI para cada una de las zonas evaluadas. Los resultados de la evaluación, se refleja en la tabla siguiente.

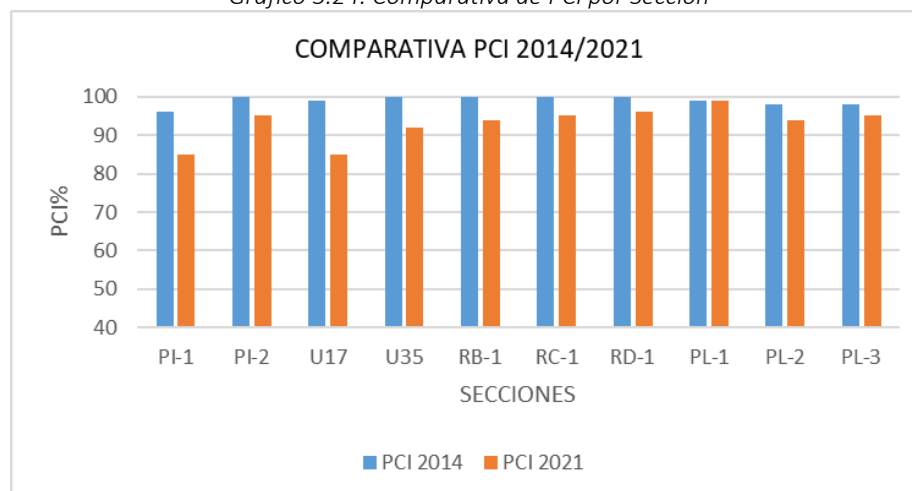
En el Anexo N° 2 se encuentran las tablas con los deterioros de cada sección. Se presenta además el índice de PCI para cada Unidad de Muestra Inspeccionada.

Tabla 3.106: Condición Pavimento Air Side

Secciones	Tipo de pavimento	Área (m <sup>2</sup> )	Año de construcción	PCI 2014	PCI 2021	SCI 2021	Calificación	Calificación DAP	UM
<b>Pista</b>									
PI-1	Asfalto	29.400	2004	96	85	94	Excelente	Adecuado	65
PI-2	Asfalto	58.800	2004	100	95	100	Excelente	Adecuado	130
<b>TOTAL</b>		<b>88.200</b>							<b>195</b>
<b>Umbral</b>									
U17	Asfalto	8.990	2004	99	85	100	Excelente	Adecuado	20
U35	Asfalto	8.990	2004	100	92	100	Excelente	Adecuado	21
<b>TOTAL</b>		<b>17.980</b>							<b>40</b>
<b>Rodaje</b>									
RB-1	Asfalto	8.177	2004	100	94	98	Excelente	Adecuado	17
RC-1	Asfalto	9.181	2004	100	95	100	Excelente	Adecuado	18
RD-1	Asfalto	13.196	2004	100	96	100	Excelente	Adecuado	29
<b>TOTAL</b>		<b>30.554</b>							<b>64</b>
<b>Plataforma</b>									
PL-1	Hormigón	16.401	2004	99	98	99	Excelente	Adecuado	58
PL-2	Asfalto	11.497	2004	98	94	100	Excelente	Adecuado	23
PL-3	Asfalto	6.400	2004	98	95	100	Excelente	Adecuado	16
<b>TOTAL</b>		<b>34.298</b>							<b>98</b>
<b>TOTAL</b>		<b>171.032</b>							<b>397</b>

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.24: Comparativa de PCI por Sección



Fuente: Elaboración Propia



Los deterioros encontrados en el área de movimiento de aviones fueron:

- Pista:
  - Los pavimentos asfálticos de pista se encuentran en muy buenas condiciones, el fallo más recurrente son las grietas longitudinales en baja severidad y grietas tipo piel de cocodrilo de severidad baja y en menor medida. La franja central se encuentra levemente más dañada que los costados como es de esperar debido al uso.
- Umbrales:
  - Los pavimentos asfálticos en los umbrales se encuentran en muy buen estado general, el umbral 35 se encuentra levemente en mejor estado que el umbral 17, los deterioros encontrados fueron principalmente grietas longitudinales de severidad baja y algunas áreas menores con grietas tipo piel de cocodrilo.
- Rodajes:
  - En todo el aeropuerto existen tres rodajes o desahogos, su estado general obtuvo calificación de excelente encontrándose todos en estado similar, el deterioro más recurrente es grietas longitudinales de baja severidad.
- Plataformas:
  - La plataforma de hormigón se encuentra en excelente estado con pocos deterioros siendo principalmente grietas de baja severidad y otras de severidad media pero muy aisladas, la parte de la plataforma construida en asfalto presenta principalmente erosión superficial de severidad baja y grietas longitudinales y transversales también de baja severidad, por último la plataforma de aviación general presenta deterioros de baja severidad como grietas longitudinales y transversales y una zona con derrame de combustible que hasta el momento no presentan mayor problema.

### 3.5.3 Proyecciones

#### 3.5.3.1 Proyección estadística PCI por sección

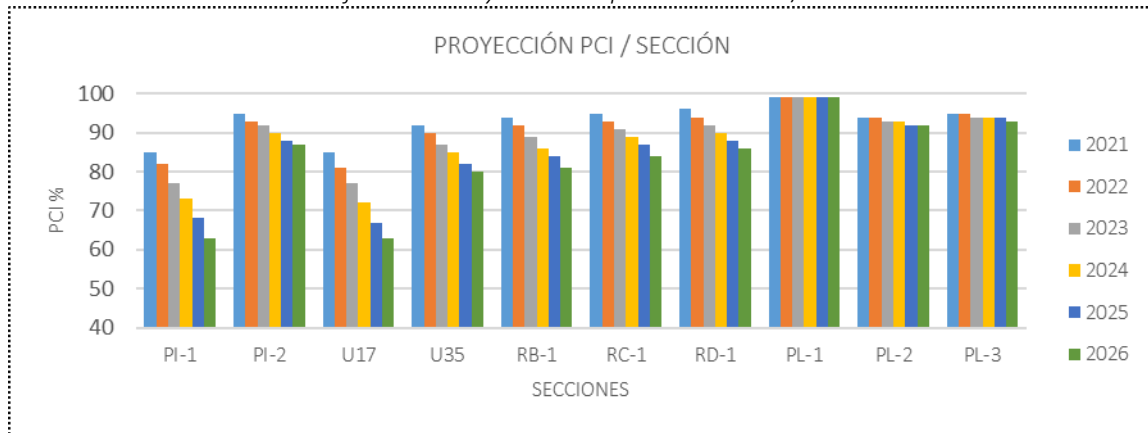
De acuerdo con lo observado, el programa arrojó la proyección de PCI para los siguientes 5 años que se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 3.107: Proyección de PCI de cada Sección del Aeropuerto - Air Side

Rama	Sección	2021	2022	2023	2024	2025	2026
PISTA	PI-1	85	82	77	73	68	63
	PI-2	95	93	92	90	88	87
UMBRAL	U17	85	81	77	72	67	63
	U35	92	90	87	85	82	80
RODAJE	RB-1	94	92	89	86	84	81
	RC-1	95	93	91	89	87	84
	RD-1	96	94	92	90	88	86
PLATAFORMA	PL-1	98	98	98	98	98	97
	PL-2	94	94	93	93	92	92
	PL-3	95	95	94	94	94	93

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.25: Proyección PCI por Sección 2021/2026



Fuente: Elaboración Propia

Estas proyecciones son en base al supuesto de que al pavimento no se le realice ningún tipo de mantenimiento.

Sin perjuicio de lo anterior, cabe mencionar que, en lo referente a la proyección del PCI de las secciones cuyo índice actual es del 100%, el programa MicroPaver, al no detectar deterioros significativos, proyecta en base a datos estadísticos la evolución de un pavimento típico. Sin embargo, por la experiencia del consultor, se recomienda desestimar este descenso brusco proyectado, ya que penaliza en exceso la condición esperada para los pavimentos de dichas secciones en los próximos años.

### 3.5.3.2 Proyección estadística de deterioros existentes por sección

Considerando la proyección de PCI para cada sección del aeropuerto se ha calculado la variación de los deterioros existentes, a lo largo de los próximos 5 años. Al igual que en el apartado anterior, estas proyecciones parten bajo el supuesto de que el pavimento no ha tenido ningún tipo de mantenimiento.

Tabla 3.108: Proyección de Deterioros En Pavimentos de Hormigón

Rama	Sección	Det.	Tipo de Deterioro	Sev.	Cantidad por Año						Unidad
					2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Plataforma	PL-1	75	Astillamiento de esquina	M	2	2	2	2	2	2	Losas
Plataforma	PL-1	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	5	5	5	5	5	5	Losas
Plataforma	PL-1	75	Astillamiento de esquina	B	9	9	9	9	9	9	Losas
Plataforma	PL-1	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	M	3	3	3	3	3	3	Losas
Plataforma	PL-1	66	Parches $\leq 0,50 \text{ m}^2$	B	2	2	2	2	2	2	Losas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.109: Proyección de Deterioros En Pavimentos Asfálticos

Rama	Sección	Det.	Tipo de Deterioro	Sev.	Cantidad por Año						Unidad
					2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Pista	P1	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	3118.4	4033.1	4947.9	5862.6	6777.3	7692.1	m
Pista	P1	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	55.8	72.2	88.5	104.9	121.3	137.6	m <sup>2</sup>
Pista	P2	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	2062.8	2722.9	3383.0	4043.1	4703.2	5363.3	m
Pista	P2	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1.7	2.2	2.8	3.3	3.9	4.4	m <sup>2</sup>
Rodaje	RB	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	119.1	170.7	222.3	273.9	325.5	377.2	m
Rodaje	RB	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	M	4.8	6.9	9.0	11.0	13.1	15.2	m
Rodaje	RB	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	2.9	4.2	5.4	6.7	7.9	9.2	m <sup>2</sup>
Rodaje	RC	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	319.4	459.9	600.5	741.0	881.5	1022.1	m
Rodaje	RD	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	367.7	551.6	735.4	919.3	1103.1	1287.0	m
Rodaje	RD	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	M	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	m
Umbral	U17	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	404	522.5	641.0	759.5	878.0	996.5	m
Umbral	U17	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	24.9	32.2	39.5	46.8	54.1	61.4	m <sup>2</sup>
Umbral	U35	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	681	885.3	1089.6	1293.9	1498.2	1702.5	m
Umbral	U35	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1.7	2.2	2.7	3.2	3.7	4.3	m <sup>2</sup>



Rama	Sección	Det.	Tipo de Deterioro	Sev.	Cantidad por Año						Unidad
					2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Plataforma	PL-2	48	Grietas Long,Transv	B	89	94.9	100.9	106.8	112.7	118.7	m
Plataforma	PL-2	52	Erosión superficial	B	261	278.4	295.8	313.2	330.6	348.0	m2
Plataforma	PL-2	52	Erosión superficial	M	2	2.1	2.3	2.4	2.5	2.7	m2
Plataforma	PL-2	56	Hinchamiento	B	2	2.1	2.3	2.4	2.5	2.7	m2
Plataforma	PL-3	41	Piel de Cocodrilo	B	3	3.2	3.5	3.7	4.0	4.2	m2
Plataforma	PL-3	48	Grietas Long,Transv	B	35	37.8	40.6	43.4	46.2	49.0	m
Plataforma	PL-3	49	Derrame de Combustible	N	63	68.0	73.1	78.1	83.2	88.2	m2
Plataforma	PL-3	52	Erosión superficial	B	7	7.6	8.1	8.7	9.2	9.8	m2

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.4 Observaciones Generales

Tabla 3.110: Observaciones

Rama	Comentarios
PISTA	Existe presencia de grietas longitudinales y transversales, como efectos del clima, todas ellas en baja severidad. También destacan las grietas tipo piel de cocodrilo, como efecto de las cargas. La proyección arrojada por Paver baja considerablemente en la sección central y levemente en la sección de los costados de la pista lo cual representa una proyección de deterioro adecuado debido a que precisamente la sección central es la que está sometida a la carga de los aviones.
UMBRALES	Presencia mayoritaria de grietas longitudinales y grietas tipo piel de cocodrilo, todas ellas en baja severidad, como consecuencia del clima y las cargas. El avance proyectado de los deterioros es moderado en el umbral sur y un poco más pronunciado en el umbral norte, esto se debe principalmente al tipo de deterioro encontrado, en este caso la presencia de piel de cocodrilo en umbral norte genera un peor pronóstico.
RODAJES	Los índices arrojados para estas secciones son similares y de calificación excelente, existiendo solo deterioros de baja severidad como grietas longitudinales y transversales, las proyecciones arrojadas presentan un avance moderado y parejo lo cual se justifica debido a que estos pavimentos son de la misma edad y también están sometidos a usos similares.
PLATAFORMAS	La plataforma de hormigón arroja un excelente índice debido a la escasa presencia de deterioros. Además, esta sección presenta una muy buena proyección debido a la naturaleza de los deterioros los cuales se deben principalmente a efectos del clima que en esta zona del país es muy favorable. Para el caso de la sección de plataforma de asfalto y la plataforma de aviación general ambas arrojaron un muy buen índice que se justifica por la presencia de solo deterioros de baja severidad, respecto a la proyección del índice PCI en el tiempo, esa es bastante buena manteniendo la calificación de excelente.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.5 Anexo N°1

Tabla 3.111: Deterioros En Pavimentos Asfálticos Para Aeronaves

Código	Tipo de Deterioro	Severidad	Unidad	Origen de Deterioro
41	Grietas tipo piel de cocodrilo	Bajo	m2	Carga
41	Grietas tipo piel de cocodrilo	Medio	m2	Carga
41	Grietas tipo piel de cocodrilo	Alto	m2	Carga
42	Afloramiento de asfalto	S/N	m2	Otras
43	Grietas en bloque	Bajo	m2	Clima
43	Grietas en bloque	Medio	m2	Clima
43	Grietas en bloque	Alto	m2	Clima
44	Corrugamiento	Bajo	m2	Otras
44	Corrugamiento	Medio	m2	Otras
44	Corrugamiento	Alto	m2	Otras
45	Depresiones	Bajo	m2	Otras
45	Depresiones	Medio	m2	Otras
45	Depresiones	Alto	m2	Otras
46	Erosión por chorro jet	S/N	m2	Otras
47	Grietas de reflexión de juntas de hormigón	Bajo	m	Clima
47	Grietas de reflexión de juntas de hormigón	Medio	m	Clima
47	Grietas de reflexión de juntas de hormigón	Alto	m	Clima
48	Grietas longitudinales y transversales	Bajo	m	Clima
48	Grietas longitudinales y transversales	Medio	m	Clima
48	Grietas longitudinales y transversales	Alto	m	Clima
49	Derrame de Combustible	S/N	m2	Otras
50	Bacheos o Parches	Bajo	m2	Clima
50	Bacheos o Parches	Medio	m2	Clima



50	Bacheos o Parches	Alto	m2	Clima
51	Agregados pulidos	S/N	m2	Otras
52	Erosión superficial	Bajo	m2	Clima
52	Erosión superficial	Medio	m2	Clima
52	Erosión superficial	Alto	m2	Clima
53	Ahuellamiento	Bajo	m2	Carga
53	Ahuellamiento	Medio	m2	Carga
53	Ahuellamiento	Alto	m2	Carga
54	Protuberancia en unión pav. asfalto-hormigón	Bajo	m2	Otras
54	Protuberancia en unión pav. asfalto-hormigón	Medio	m2	Otras
54	Protuberancia en unión pav. asfalto-hormigón	Alto	m2	Otras
55	Grietas por resbalamiento	S/N	m2	Otras
56	Hinchamiento	Bajo	m2	Otras
56	Hinchamiento	Medio	m2	Otras
56	Hinchamiento	Alto	m2	Otras

Fuente: Elaboración Propia

Nota:

- Las celdas coloreadas representan deterioros de emergencia
- El origen tipo Clima, también puede deberse a Edad
- El Origen del tipo Otros pueden ser del tipo constructivo o por efecto de las aeronaves, pero no implican carga, como por ejemplo el chorro de los motores que queman el pavimento, o el derrame de aceites solventes, o por efecto del material granular o del suelo bajo el pavimento.

Tabla 3.112: Deterioros en Pavimentos de Hormigón para Aeronaves

Código	Tipo de Deterioro	Sev.	Unidad	Origen de Deterioro
61	Levantamiento de losas por dilatación	Bajo	Losas	Clima
61	Levantamiento de losas por dilatación	Medio	Losas	Clima
61	Levantamiento de losas por dilatación	Alto	Losas	Clima
62	Grietas de esquina	Bajo	Losas	Carga
62	Grietas de esquina	Medio	Losas	Carga
62	Grietas de esquina	Alto	Losas	Carga
63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	Bajo	Losas	Carga
63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	Medio	Losas	Carga
63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	Alto	Losas	Carga
64	Grietas tipo "D"	Bajo	Losas	Clima
64	Grietas tipo "D"	Medio	Losas	Clima
64	Grietas tipo "D"	Alto	Losas	Clima
65	Daño al sello de juntas	Bajo	Losas	Clima
65	Daño al sello de juntas	Medio	Losas	Clima
65	Daño al sello de juntas	Alto	Losas	Clima
66	Parches ≤ 0,50 m <sup>2</sup>	Bajo	Losas	Otras
66	Parches ≤ 0,50 m <sup>2</sup>	Medio	Losas	Otras
66	Parches ≤ 0,50 m <sup>2</sup>	Alto	Losas	Otras
67	Parches > 0,50 m <sup>2</sup>	Bajo	Losas	Otras
67	Parches > 0,50 m <sup>2</sup>	Medio	Losas	Otras
67	Parches > 0,50 m <sup>2</sup>	Alto	Losas	Otras
68	Agujeros	S/N	Losas	Otras
69	Bombeo	S/N	Losas	Otras
70	Escamaduras, grietas tipo mapeo y cuarteaduras	Bajo	Losas	Otras
70	Escamaduras, grietas tipo mapeo y cuarteaduras	Medio	Losas	Otras
70	Escamaduras, grietas tipo mapeo y cuarteaduras	Alto	Losas	Otras
71	Escalonamiento	Bajo	Losas	Otras
71	Escalonamiento	Medio	Losas	Otras
71	Escalonamiento	Alto	Losas	Otras
72	Grietas en bloque (losas destrozadas)	Bajo	Losas	Carga
72	Grietas en bloque (losas destrozadas)	Medio	Losas	Carga
72	Grietas en bloque (losas destrozadas)	Alto	Losas	Carga
73	Grietas de retracción	S/N	Losas	Otras
74	Astillamiento en juntas	Bajo	Losas	Otras
74	Astillamiento en juntas	Medio	Losas	Otras
74	Astillamiento en juntas	Alto	Losas	Otras



Código	Tipo de Deterioro	Sev.	Unidad	Origen de Deterioro
75	Astillamiento de esquinas	Bajo	Losas	Otras
75	Astillamiento de esquinas	Medio	Losas	Otras
75	Astillamiento de esquinas	Alto	Losas	Otras

Fuente: Elaboración Propia

Nota:

- Las celdas coloreadas representan deterioros de emergencia
- El origen tipo Clima, también puede deberse a Edad
- El Origen del tipo Otros, pueden ser del tipo constructivo o por efecto materiales bajo la capa de pavimento que pueden asentarse o bien ser expansivos, provocando algún tipo de deterioro.

### 3.5.6 Anexo N°2

Tabla 3.113: Índice de PCI por Unidad de Muestra Inspeccionada Air Side

Sección	UM	PCI	Sección	UM	PCI	Sección	UM	PCI	Sección	UM	PCI	Sección	UM	PCI
PI-1	1	93		61	85		56	95		116	97		11	94
	2	93		62	80		57	96		117	96		12	94
	3	92		63	86		58	93		118	96		13	94
	4	93		64	79		59	96		119	94		14	94
	5	92		65	95		60	95		120	96		15	94
	6	78	PI-2	1	94		61	95		121	93		16	94
	7	78		2	92		62	93		122	95		17	100
	8	80		3	94		63	95		123	93		18	100
	9	88		4	95		64	95		124	94		19	94
	10	82		5	93		65	96		125	94		20	94
	11	81		6	95		66	94		126	96		21	94
	12	79		7	93		67	96		127	94		22	94
	13	78		8	96		68	97		128	95		23	94
	14	77		9	95		69	95		129	95		24	94
	15	78		10	95		70	96		130	95		25	94
	16	78		11	96		71	95	RB-1	1	94		26	94
	17	81		12	96		72	91		2	94		27	100
	18	90		13	98		73	95		3	95		28	95
	19	86		14	97		74	93		4	96		29	100
	20	93		15	95		75	95		5	100	U17	1	87
	21	90		16	95		76	92		6	96		2	78
	22	88		17	95		77	94		7	95		3	78
	23	92		18	95		78	94		8	100		4	80
	24	93		19	95		79	94		9	100		5	84
	25	91		20	95		80	96		10	100		6	85
	26	88		21	95		81	94		11	92		7	83
	27	94		22	96		82	92		12	90		8	85
	28	92		23	95		83	94		13	85		9	88
	29	82		24	96		84	95		14	85		10	89
	30	89		25	95		85	94		15	87		11	88
	31	84		26	95		86	82		16	91		12	89
	32	92		27	95		87	93		17	91		13	88
	33	89		28	95		88	95	RC-1	1	96		14	86
	34	82		29	95		89	95		2	92		15	86
	35	77		30	95		90	95		3	94		16	88
	36	89		31	96		91	94		4	91		17	83
	37	89		32	95		92	95		5	94		18	88
	38	86		33	94		93	94		6	93		19	85
	39	78		34	96		94	95		7	94		20	88
	40	83		35	95		95	94		8	94	U35	1	96
	41	78		36	95		96	95		9	91		2	95
	42	83		37	95		97	94		10	94		3	83
	43	87		38	96		98	95		11	94		4	95
	44	80		39	96		99	93		12	93		5	89



Sección	UM	PCI	Sección	UM	PCI	Sección	UM	PCI	Sección	UM	PCI	Sección	UM	PCI
	45	84		40	96		100	95		13	93		6	90
	46	80		41	95		101	94		14	100		7	91
	47	78		42	93		102	95		15	96		8	92
	48	79		43	96		103	94		16	100		9	94
	49	86		44	94		104	96		17	100		10	93
	50	81		45	96		105	95		18	100		11	94
	51	84		46	95		106	94	RD-1	1	96		12	94
	52	79		47	96		107	94		2	96		13	93
	53	82		48	94		108	96		3	96		14	90
	54	87		49	96		109	93		4	100		15	89
	55	87		50	94		110	95		5	100		16	94
	56	90		51	96		111	95		6	100		17	88
	57	88		52	94		112	96		7	100		18	91
	58	86		53	96		113	93		8	94		19	88
	59	87		54	94		114	95		9	94		20	94
	60	80		55	96		115	93		10	94		21	94

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.114: Tipo y Cantidad de Deterioros por Sección (Air Side)-Hormigón

Rama	Sección	Det.	Tipo de Deterioro	Sev.	Cantidad	Unidad
Plataforma	PL-1	75	Astillamiento de esquina	M	2	Losas
Plataforma	PL-1	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	5	Losas
Plataforma	PL-1	75	Astillamiento de esquina	B	9	Losas
Plataforma	PL-1	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	M	3	Losas
Plataforma	PL-1	66	Parches $\leq 0,50 \text{ m}^2$	B	2	Losas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.115: Tipo y Cantidad de Deterioros por Sección (Air Side) - Asfalto

Rama	Sección	Det.	Tipo de Deterioro	Sev.	Cantidad	Unidad
Pista	P1	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	3118.4	m
Pista	P1	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	55.8	m2
Pista	P2	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	2062.8	m
Pista	P2	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1.7	m2
Rodaje	RB	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	119.1	m
Rodaje	RB	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	M	4.8	m
Rodaje	RB	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	2.9	m2
Rodaje	RC	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	319.4	m
Rodaje	RD	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	367.7	m
Rodaje	RD	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	M	1.2	m
Umbral	U17	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	404.0	m
Umbral	U17	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	24.9	m2
Umbral	U35	48	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	681.0	m
Umbral	U35	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1.7	m2
Plataforma	PL-2	48	Grietas Long,Transv	B	89	m
Plataforma	PL-2	52	Erosión superficial	B	261	m2
Plataforma	PL-2	52	Erosión superficial	M	2	m2
Plataforma	PL-2	56	Hinchamiento	B	2	m2
Plataforma	PL-3	41	Piel de Cocodrilo	B	3	m2
Plataforma	PL-3	48	Grietas Long,Transv	B	35	m
Plataforma	PL-3	49	Derrame de Combustible	N	63	m2
Plataforma	PL-3	52	Erosión superficial	B	7	m2

Fuente: Elaboración Propia

Nota:

- Al escanear el pavimento y detectar cierto desnivel, el programa arroja ahuellamiento, tras la visita a terreno se ha descartado los que corresponden a un error de interpretación causado por las juntas de construcción.



Tabla 3.116: Tipo y Cantidad de Deterioros por Unidad de Muestra (Air Side)

Sección	Um	Código	Tipo de Deterioro	B	Cant	Un
PI-1	1	48	Grietas longitudinales y transversales	B	30,00	m
PI-1	2	48	Grietas longitudinales y transversales	B	25,42	m
PI-1	3	48	Grietas longitudinales y transversales	B	30,37	m
PI-1	4	48	Grietas longitudinales y transversales	B	28,26	m
PI-1	5	48	Grietas longitudinales y transversales	B	31,32	m
PI-1	6	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	3,34	m2
PI-1	6	48	Grietas longitudinales y transversales	B	5,12	m
PI-1	7	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	2,99	m2
PI-1	7	48	Grietas longitudinales y transversales	B	23,87	m
PI-1	8	48	Grietas longitudinales y transversales	B	5,34	m
PI-1	8	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	2,71	m2
PI-1	9	48	Grietas longitudinales y transversales	B	25,85	m
PI-1	9	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,60	m2
PI-1	10	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,88	m2
PI-1	10	48	Grietas longitudinales y transversales	B	23,18	m
PI-1	11	48	Grietas longitudinales y transversales	B	25,53	m
PI-1	11	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	2,01	m2
PI-1	12	48	Grietas longitudinales y transversales	B	10,01	m
PI-1	12	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	2,94	m2
PI-1	13	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	2,99	m2
PI-1	13	48	Grietas longitudinales y transversales	B	44,01	m
PI-1	14	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	3,75	m2
PI-1	14	48	Grietas longitudinales y transversales	B	10,64	m
PI-1	15	48	Grietas longitudinales y transversales	B	6,17	m
PI-1	15	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	3,29	m2
PI-1	16	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,43	m
PI-1	16	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	2,91	m2
PI-1	17	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,33	m2
PI-1	17	48	Grietas longitudinales y transversales	B	67,50	m
PI-1	18	48	Grietas longitudinales y transversales	B	43,59	m
PI-1	19	48	Grietas longitudinales y transversales	B	37,69	m
PI-1	19	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,79	m2
PI-1	20	48	Grietas longitudinales y transversales	B	28,70	m
PI-1	21	48	Grietas longitudinales y transversales	B	46,74	m
PI-1	22	48	Grietas longitudinales y transversales	B	56,37	m
PI-1	23	48	Grietas longitudinales y transversales	B	30,94	m
PI-1	24	48	Grietas longitudinales y transversales	B	24,61	m
PI-1	25	48	Grietas longitudinales y transversales	B	40,73	m
PI-1	26	48	Grietas longitudinales y transversales	B	26,43	m
PI-1	26	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,65	m2
PI-1	27	48	Grietas longitudinales y transversales	B	22,42	m
PI-1	28	48	Grietas longitudinales y transversales	B	35,16	m
PI-1	29	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,84	m2
PI-1	29	48	Grietas longitudinales y transversales	B	35,33	m
PI-1	30	48	Grietas longitudinales y transversales	B	51,81	m
PI-1	31	48	Grietas longitudinales y transversales	B	49,71	m
PI-1	31	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,04	m2
PI-1	32	48	Grietas longitudinales y transversales	B	35,35	m
PI-1	33	48	Grietas longitudinales y transversales	B	48,91	m
PI-1	34	48	Grietas longitudinales y transversales	B	62,77	m
PI-1	34	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,98	m2
PI-1	35	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	3,50	m2
PI-1	35	48	Grietas longitudinales y transversales	B	30,98	m
PI-1	36	48	Grietas longitudinales y transversales	B	48,33	m
PI-1	37	48	Grietas longitudinales y transversales	B	49,67	m
PI-1	38	48	Grietas longitudinales y transversales	B	69,47	m
PI-1	39	48	Grietas longitudinales y transversales	B	63,78	m
PI-1	39	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	3,16	m2
PI-1	40	48	Grietas longitudinales y transversales	B	57,75	m
PI-1	40	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,34	m2
PI-1	41	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,93	m2



<i>Sección</i>	<i>Um</i>	<i>Código</i>	<i>Tipo de Deterioro</i>	<i>B</i>	<i>Cant</i>	<i>Un</i>
PI-1	41	48	Grietas longitudinales y transversales	B	90,23	m
PI-1	42	48	Grietas longitudinales y transversales	B	58,85	m
PI-1	42	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,32	m2
PI-1	43	48	Grietas longitudinales y transversales	B	60,63	m
PI-1	44	48	Grietas longitudinales y transversales	B	72,81	m
PI-1	44	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,92	m2
PI-1	45	48	Grietas longitudinales y transversales	B	50,90	m
PI-1	45	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,09	m2
PI-1	46	48	Grietas longitudinales y transversales	B	76,81	m
PI-1	46	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	2,18	m2
PI-1	47	48	Grietas longitudinales y transversales	B	89,47	m
PI-1	47	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,90	m2
PI-1	48	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,90	m2
PI-1	48	48	Grietas longitudinales y transversales	B	80,25	m
PI-1	49	48	Grietas longitudinales y transversales	B	71,64	m
PI-1	50	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,20	m2
PI-1	50	48	Grietas longitudinales y transversales	B	71,94	m
PI-1	51	48	Grietas longitudinales y transversales	B	80,45	m
PI-1	52	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,18	m2
PI-1	52	48	Grietas longitudinales y transversales	B	83,96	m
PI-1	53	48	Grietas longitudinales y transversales	B	62,33	m
PI-1	53	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,37	m2
PI-1	54	48	Grietas longitudinales y transversales	B	63,69	m
PI-1	55	48	Grietas longitudinales y transversales	B	64,75	m
PI-1	56	48	Grietas longitudinales y transversales	B	42,64	m
PI-1	57	48	Grietas longitudinales y transversales	B	52,98	m
PI-1	58	48	Grietas longitudinales y transversales	B	68,71	m
PI-1	59	48	Grietas longitudinales y transversales	B	62,04	m
PI-1	60	48	Grietas longitudinales y transversales	B	77,39	m
PI-1	60	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,24	m2
PI-1	61	48	Grietas longitudinales y transversales	B	77,39	m
PI-1	62	48	Grietas longitudinales y transversales	B	77,16	m
PI-1	62	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,04	m2
PI-1	63	48	Grietas longitudinales y transversales	B	68,28	m
PI-1	64	48	Grietas longitudinales y transversales	B	84,07	m
PI-1	64	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,56	m2
PI-1	65	48	Grietas longitudinales y transversales	B	23,79	m
PI-2	1	48	Grietas longitudinales y transversales	B	21,40	m
PI-2	2	48	Grietas longitudinales y transversales	B	34,40	m
PI-2	3	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,78	m
PI-2	4	48	Grietas longitudinales y transversales	B	11,89	m
PI-2	5	48	Grietas longitudinales y transversales	B	25,06	m
PI-2	6	48	Grietas longitudinales y transversales	B	13,41	m
PI-2	7	48	Grietas longitudinales y transversales	B	25,05	m
PI-2	8	48	Grietas longitudinales y transversales	B	11,21	m
PI-2	9	48	Grietas longitudinales y transversales	B	13,57	m
PI-2	10	48	Grietas longitudinales y transversales	B	17,64	m
PI-2	11	48	Grietas longitudinales y transversales	B	10,44	m
PI-2	12	48	Grietas longitudinales y transversales	B	6,56	m
PI-2	13	48	Grietas longitudinales y transversales	B	0,64	m
PI-2	14	48	Grietas longitudinales y transversales	B	2,81	m
PI-2	15	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,61	m
PI-2	16	48	Grietas longitudinales y transversales	B	17,07	m
PI-2	17	48	Grietas longitudinales y transversales	B	17,43	m
PI-2	18	48	Grietas longitudinales y transversales	B	11,63	m
PI-2	19	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,05	m
PI-2	20	48	Grietas longitudinales y transversales	B	17,33	m
PI-2	21	48	Grietas longitudinales y transversales	B	17,58	m
PI-2	22	48	Grietas longitudinales y transversales	B	9,06	m
PI-2	23	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,81	m
PI-2	24	48	Grietas longitudinales y transversales	B	9,24	m



<b>Sección</b>	<b>Um</b>	<b>Código</b>	<b>Tipo de Deterioro</b>	<b>B</b>	<b>Cant</b>	<b>Un</b>
PI-2	25	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,64	m
PI-2	26	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,70	m
PI-2	27	48	Grietas longitudinales y transversales	B	17,63	m
PI-2	28	48	Grietas longitudinales y transversales	B	13,07	m
PI-2	29	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,54	m
PI-2	30	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,00	m
PI-2	31	48	Grietas longitudinales y transversales	B	8,15	m
PI-2	32	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,21	m
PI-2	33	48	Grietas longitudinales y transversales	B	21,40	m
PI-2	34	48	Grietas longitudinales y transversales	B	6,92	m
PI-2	35	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,90	m
PI-2	36	48	Grietas longitudinales y transversales	B	14,42	m
PI-2	37	48	Grietas longitudinales y transversales	B	14,17	m
PI-2	38	48	Grietas longitudinales y transversales	B	7,71	m
PI-2	39	48	Grietas longitudinales y transversales	B	10,36	m
PI-2	40	48	Grietas longitudinales y transversales	B	6,24	m
PI-2	41	48	Grietas longitudinales y transversales	B	16,68	m
PI-2	42	48	Grietas longitudinales y transversales	B	24,85	m
PI-2	43	48	Grietas longitudinales y transversales	B	6,84	m
PI-2	44	48	Grietas longitudinales y transversales	B	21,22	m
PI-2	45	48	Grietas longitudinales y transversales	B	7,91	m
PI-2	46	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,31	m
PI-2	47	48	Grietas longitudinales y transversales	B	8,82	m
PI-2	48	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,80	m
PI-2	49	48	Grietas longitudinales y transversales	B	4,77	m
PI-2	50	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,25	m
PI-2	51	48	Grietas longitudinales y transversales	B	7,17	m
PI-2	52	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,64	m
PI-2	53	48	Grietas longitudinales y transversales	B	6,34	m
PI-2	54	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,22	m
PI-2	55	48	Grietas longitudinales y transversales	B	10,38	m
PI-2	56	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,49	m
PI-2	57	48	Grietas longitudinales y transversales	B	9,67	m
PI-2	58	48	Grietas longitudinales y transversales	B	25,03	m
PI-2	59	48	Grietas longitudinales y transversales	B	5,15	m
PI-2	60	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,15	m
PI-2	61	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,81	m
PI-2	62	48	Grietas longitudinales y transversales	B	28,89	m
PI-2	63	48	Grietas longitudinales y transversales	B	16,96	m
PI-2	64	48	Grietas longitudinales y transversales	B	14,89	m
PI-2	65	48	Grietas longitudinales y transversales	B	9,82	m
PI-2	66	48	Grietas longitudinales y transversales	B	21,12	m
PI-2	67	48	Grietas longitudinales y transversales	B	11,31	m
PI-2	68	48	Grietas longitudinales y transversales	B	3,84	m
PI-2	69	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,19	m
PI-2	70	48	Grietas longitudinales y transversales	B	5,53	m
PI-2	71	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,08	m
PI-2	72	48	Grietas longitudinales y transversales	B	36,52	m
PI-2	73	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,76	m
PI-2	74	48	Grietas longitudinales y transversales	B	25,27	m
PI-2	75	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,82	m
PI-2	76	48	Grietas longitudinales y transversales	B	31,72	m
PI-2	77	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,60	m
PI-2	78	48	Grietas longitudinales y transversales	B	22,52	m
PI-2	79	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,80	m
PI-2	80	48	Grietas longitudinales y transversales	B	5,48	m
PI-2	81	48	Grietas longitudinales y transversales	B	22,08	m
PI-2	82	48	Grietas longitudinales y transversales	B	34,26	m
PI-2	83	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,88	m
PI-2	84	48	Grietas longitudinales y transversales	B	13,57	m
PI-2	85	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,70	m
PI-2	86	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,98	m



<i>Sección</i>	<i>Um</i>	<i>Código</i>	<i>Tipo de Deterioro</i>	<i>B</i>	<i>Cant</i>	<i>Un</i>
PI-2	86	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,74	m2
PI-2	87	48	Grietas longitudinales y transversales	B	26,98	m
PI-2	88	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,90	m
PI-2	89	48	Grietas longitudinales y transversales	B	16,47	m
PI-2	90	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,96	m
PI-2	91	48	Grietas longitudinales y transversales	B	22,63	m
PI-2	92	48	Grietas longitudinales y transversales	B	17,78	m
PI-2	93	48	Grietas longitudinales y transversales	B	21,44	m
PI-2	94	48	Grietas longitudinales y transversales	B	14,64	m
PI-2	95	48	Grietas longitudinales y transversales	B	21,73	m
PI-2	96	48	Grietas longitudinales y transversales	B	14,23	m
PI-2	97	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,54	m
PI-2	98	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,04	m
PI-2	99	48	Grietas longitudinales y transversales	B	26,51	m
PI-2	100	48	Grietas longitudinales y transversales	B	14,93	m
PI-2	101	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,63	m
PI-2	102	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,36	m
PI-2	103	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,87	m
PI-2	104	48	Grietas longitudinales y transversales	B	5,46	m
PI-2	105	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,39	m
PI-2	106	48	Grietas longitudinales y transversales	B	23,84	m
PI-2	107	48	Grietas longitudinales y transversales	B	21,36	m
PI-2	108	48	Grietas longitudinales y transversales	B	4,61	m
PI-2	109	48	Grietas longitudinales y transversales	B	26,04	m
PI-2	110	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,96	m
PI-2	111	48	Grietas longitudinales y transversales	B	16,68	m
PI-2	112	48	Grietas longitudinales y transversales	B	7,07	m
PI-2	113	48	Grietas longitudinales y transversales	B	28,87	m
PI-2	114	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,25	m
PI-2	115	48	Grietas longitudinales y transversales	B	25,65	m
PI-2	116	48	Grietas longitudinales y transversales	B	2,63	m
PI-2	117	48	Grietas longitudinales y transversales	B	6,34	m
PI-2	118	48	Grietas longitudinales y transversales	B	9,71	m
PI-2	119	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,54	m
PI-2	120	48	Grietas longitudinales y transversales	B	8,50	m
PI-2	121	48	Grietas longitudinales y transversales	B	26,74	m
PI-2	122	48	Grietas longitudinales y transversales	B	14,52	m
PI-2	123	48	Grietas longitudinales y transversales	B	26,62	m
PI-2	124	48	Grietas longitudinales y transversales	B	21,46	m
PI-2	125	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,79	m
PI-2	126	48	Grietas longitudinales y transversales	B	10,69	m
PI-2	127	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,56	m
PI-2	128	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,14	m
PI-2	129	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,50	m
PI-2	130	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,38	m
RB-1	1	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,14	m
RB-1	2	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,78	m
RB-1	3	48	Grietas longitudinales y transversales	B	11,60	m
RB-1	4	48	Grietas longitudinales y transversales	B	7,35	m
RB-1	6	48	Grietas longitudinales y transversales	B	7,20	m
RB-1	7	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12,60	m
RB-1	11	48	Grietas longitudinales y transversales	m	1,19	m
RB-1	11	48	Grietas longitudinales y transversales	B	9,03	m
RB-1	12	48	Grietas longitudinales y transversales	B	3,77	m
RB-1	12	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,26	m2
RB-1	13	48	Grietas longitudinales y transversales	m	1,50	m
RB-1	13	48	Grietas longitudinales y transversales	B	7,12	m
RB-1	13	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,60	m2
RB-1	14	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,35	m2
RB-1	14	48	Grietas longitudinales y transversales	B	9,61	m
RB-1	14	48	Grietas longitudinales y transversales	m	1,62	m



Sección	Um	Código	Tipo de Deterioro	B	Cant	Un
RB-1	15	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,07	m2
RB-1	15	48	Grietas longitudinales y transversales	B	5,91	m
RB-1	15	48	Grietas longitudinales y transversales	m	0,53	m
RB-1	16	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,22	m2
RB-1	16	48	Grietas longitudinales y transversales	B	3,83	m
RB-1	17	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,44	m2
RB-1	17	48	Grietas longitudinales y transversales	B	2,15	m
RC-1	1	48	Grietas longitudinales y transversales	B	7,00	m
RC-1	2	48	Grietas longitudinales y transversales	B	33,00	m
RC-1	3	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RC-1	4	48	Grietas longitudinales y transversales	B	40,00	m
RC-1	5	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RC-1	6	48	Grietas longitudinales y transversales	B	25,00	m
RC-1	7	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RC-1	8	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RC-1	9	48	Grietas longitudinales y transversales	B	40,00	m
RC-1	10	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RC-1	11	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RC-1	12	48	Grietas longitudinales y transversales	B	28,00	m
RC-1	13	48	Grietas longitudinales y transversales	B	25,00	m
RC-1	15	48	Grietas longitudinales y transversales	B	1,36	m
RC-1	15	48	Grietas longitudinales y transversales	m	0,79	m
RD-1	1	48	Grietas longitudinales y transversales	m	1,16	m
RD-1	1	48	Grietas longitudinales y transversales	B	2,09	m
RD-1	2	48	Grietas longitudinales y transversales	B	7,37	m
RD-1	3	48	Grietas longitudinales y transversales	B	9,23	m
RD-1	8	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,00	m
RD-1	9	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,00	m
RD-1	10	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,00	m
RD-1	11	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,00	m
RD-1	12	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,00	m
RD-1	13	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RD-1	14	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RD-1	15	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RD-1	16	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RD-1	19	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RD-1	20	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RD-1	21	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RD-1	22	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RD-1	23	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RD-1	24	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RD-1	25	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RD-1	26	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,00	m
RD-1	28	48	Grietas longitudinales y transversales	B	14,00	m
U17	1	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,92	m2
U17	1	48	Grietas longitudinales y transversales	B	10,02	m
U17	2	48	Grietas longitudinales y transversales	B	25,52	m
U17	2	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	2,99	m2
U17	3	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	3,13	m2
U17	3	48	Grietas longitudinales y transversales	B	26,52	m
U17	4	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	2,54	m2
U17	4	48	Grietas longitudinales y transversales	B	21,66	m
U17	5	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,43	m2
U17	5	48	Grietas longitudinales y transversales	B	24,23	m
U17	6	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,24	m2
U17	6	48	Grietas longitudinales y transversales	B	20,87	m
U17	7	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,63	m2
U17	7	48	Grietas longitudinales y transversales	B	18,77	m
U17	8	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,27	m2



Sección	Um	Código	Tipo de Deterioro	B	Cant	Un
U17	8	48	Grietas longitudinales y transversales	B	21,27	m
U17	9	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,55	m2
U17	9	48	Grietas longitudinales y transversales	B	13,59	m
U17	10	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,10	m2
U17	10	48	Grietas longitudinales y transversales	B	9,61	m
U17	11	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,70	m2
U17	11	48	Grietas longitudinales y transversales	B	10,81	m
U17	12	48	Grietas longitudinales y transversales	B	10,83	m
U17	12	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,29	m2
U17	13	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,53	m2
U17	13	48	Grietas longitudinales y transversales	B	17,57	m
U17	14	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,02	m2
U17	14	48	Grietas longitudinales y transversales	B	35,54	m
U17	15	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,96	m2
U17	15	48	Grietas longitudinales y transversales	B	40,31	m
U17	16	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,40	m2
U17	16	48	Grietas longitudinales y transversales	B	17,40	m
U17	17	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,64	m2
U17	17	48	Grietas longitudinales y transversales	B	21,01	m
U17	18	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,58	m2
U17	18	48	Grietas longitudinales y transversales	B	16,72	m
U17	19	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,75	m2
U17	19	48	Grietas longitudinales y transversales	B	25,54	m
U17	20	48	Grietas longitudinales y transversales	B	16,16	m
U17	20	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	0,28	m2
U35	1	48	Grietas longitudinales y transversales	B	10,86	m
U35	2	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,15	m
U35	3	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1,70	m2
U35	3	48	Grietas longitudinales y transversales	B	24,53	m
U35	4	48	Grietas longitudinales y transversales	B	16,84	m
U35	5	48	Grietas longitudinales y transversales	B	49,18	m
U35	6	48	Grietas longitudinales y transversales	B	46,16	m
U35	7	48	Grietas longitudinales y transversales	B	39,42	m
U35	8	48	Grietas longitudinales y transversales	B	32,92	m
U35	9	48	Grietas longitudinales y transversales	B	21,75	m
U35	10	48	Grietas longitudinales y transversales	B	24,60	m
U35	11	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,61	m
U35	12	48	Grietas longitudinales y transversales	B	19,88	m
U35	13	48	Grietas longitudinales y transversales	B	50,76	m
U35	14	48	Grietas longitudinales y transversales	B	46,24	m
U35	15	48	Grietas longitudinales y transversales	B	50,19	m
U35	16	48	Grietas longitudinales y transversales	B	23,68	m
U35	17	48	Grietas longitudinales y transversales	B	53,48	m
U35	18	48	Grietas longitudinales y transversales	B	38,90	m
U35	19	48	Grietas longitudinales y transversales	B	68,05	m
U35	20	48	Grietas longitudinales y transversales	B	13,13	m
U35	21	48	Grietas longitudinales y transversales	B	15,71	m
PL-1	3	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	1	Losas
PL-1	7	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	1	Losas
PL-1	14	75	Astillamiento de esquina	B	1	Losas
PL-1	14	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	1	Losas
PL-1	20	75	Astillamiento de esquina	B	1	Losas
PL-1	24	75	Astillamiento de esquina	B	1	Losas
PL-1	24	75	Astillamiento de esquina	M	1	Losas
PL-1	26	75	Astillamiento de esquina	M	1	Losas
PL-1	26	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	1	Losas
PL-1	27	66	Parches $\leq 0,50$ m <sup>2</sup>	B	2	Losas
PL-1	32	75	Astillamiento de esquina	B	2	Losas
PL-1	33	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	M	1	Losas
PL-1	35	75	Astillamiento de esquina	B	1	Losas



<i>Sección</i>	<i>Um</i>	<i>Código</i>	<i>Tipo de Deterioro</i>	<i>B</i>	<i>Cant</i>	<i>Un</i>
PL-1	38	75	Astillamiento de esquina	B	1	Losas
PL-1	44	75	Astillamiento de esquina	B	1	Losas
PL-1	44	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	B	1	Losas
PL-1	44	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	M	1	Losas
PL-1	50	75	Astillamiento de esquina	B	1	Losas
PL-1	54	63	Grietas longitudinales, transversales y diagonales	M	1	Losas
PL-2	1	48	Grietas longitudinales y transversales	B	6	m
PL-2	1	52	Erosión superficial	B	46	m2
PL-2	3	48	Grietas longitudinales y transversales	B	6	m
PL-2	4	52	Erosión superficial	B	12	m2
PL-2	5	52	Erosión superficial	B	8	m2
PL-2	6	48	Grietas longitudinales y transversales	B	5	m
PL-2	7	48	Grietas longitudinales y transversales	B	10	m
PL-2	7	52	Erosión superficial	B	10	m2
PL-2	8	52	Erosión superficial	B	15	m2
PL-2	9	48	Grietas longitudinales y transversales	B	7	m
PL-2	9	52	Erosión superficial	B	10	m2
PL-2	10	52	Erosión superficial	B	20	m2
PL-2	11	48	Grietas longitudinales y transversales	B	4	m
PL-2	11	52	Erosión superficial	B	15	m2
PL-2	12	52	Erosión superficial	B	14	m2
PL-2	13	48	Grietas longitudinales y transversales	B	8	m
PL-2	13	52	Erosión superficial	B	9	m2
PL-2	14	52	Erosión superficial	B	20	m2
PL-2	15	48	Grietas longitudinales y transversales	B	5	m
PL-2	16	52	Erosión superficial	B	11	m2
PL-2	17	48	Grietas longitudinales y transversales	B	11	m
PL-2	17	52	Erosión superficial	B	6	m2
PL-2	18	48	Grietas longitudinales y transversales	B	2	m
PL-2	18	52	Erosión superficial	B	10	m2
PL-2	19	48	Grietas longitudinales y transversales	B	11	m
PL-2	19	52	Erosión superficial	M	2	m2
PL-2	20	52	Erosión superficial	B	8	m2
PL-2	21	48	Grietas longitudinales y transversales	B	5	m
PL-2	22	52	Erosión superficial	B	25	m2
PL-2	22	56	Hinchamiento	B	1	m2
PL-2	23	48	Grietas longitudinales y transversales	B	1	m
PL-2	23	52	Erosión superficial	B	1	m2
PL-3	2	52	Erosión superficial	B	2	m2
PL-3	3	49	Derrame de Combustible	B	7	m2
PL-3	3	52	Erosión superficial	B	1	m2
PL-3	6	52	Erosión superficial	B	3	m2
PL-3	8	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1	m2
PL-3	8	48	Grietas longitudinales y transversales	B	12	m
PL-3	10	48	Grietas longitudinales y transversales	B	4	m
PL-3	12	41	Grietas tipo piel de cocodrilo	B	1	m2
PL-3	12	48	Grietas longitudinales y transversales	B	4	m
PL-3	14	48	Grietas longitudinales y transversales	B	3	m
PL-3	14	49	Derrame de Combustible	B	1	m2
PL-3	15	48	Grietas longitudinales y transversales	B	5	m
PL-3	16	48	Grietas longitudinales y transversales	B	4	m
PL-3	16	49	Derrame de Combustible	B	50	m2

Fuente: Elaboración Propia



## 4 PLANES DE CONSERVACIÓN Y OBRAS NUEVAS

### 4.1 PLAN DE INVERSIÓN EN CONSERVACIÓN MAYOR Y RUTINARIA

#### 4.1.1 Introducción

A continuación, se presenta la Etapa 4.1: Planes de Conservación, donde a partir de las características de los pavimentos, según las etapas anteriores, se desarrollará un plan de conservación valorizado de las obras de conservación del aeropuerto.

#### 4.1.2 Plan De Conservación

##### 4.1.2.1 Tipos de trabajos

El plan de mantenimiento aeroportuario tendrá como causa fundamental mantener los pavimentos funcional y estructuralmente en forma adecuada en un horizonte de 20 años a partir del año 1, siendo este el 2022. Dentro de las consideraciones del plan influirán la condición funcional del pavimento según el índice PCI y la condición estructural según el índice SCI, ambos criterios comentados en la etapa 1 y 3 del estudio.

Así mismo, se deberá tener en consideración la edad del pavimento y su vida residual según las operaciones de la flota proyectada. Lo anterior es necesario, ya que, si bien el pavimento actualmente se presenta de manera apropiada, es posible; no siendo esta una afirmación, que presente daños estructurales en forma creciente si la estructura es insuficiente.

Según las características del pavimento y su necesidad de mantenimiento, existirán diferentes trabajos de conservación, siendo los de conservación rutinaria localizada asociados a los daños según el índice PCI, en tanto que los de conservación mayor, asociadas al índice PCI en sí, al SCI y a la vida residual.

##### 4.1.2.1.1 *Conservación Rutinaria*

Dentro de este rango se encontrarán los trabajos:

- Localizado de emergencia
- Localizado preventivo

El primero es imposible de identificar dentro de un plan de mantenimiento a largo plazo, siendo necesaria una inspección visual para su detección, donde considera la reparación de ciertos deterioros en severidad alta que inciden en la seguridad operacional. Se descarta; por tanto, incluir trabajos de este tipo dentro del listado de obras. Sin embargo, a lo anterior es clave mencionar que las reparaciones serán del mismo tipo que las localizadas preventivas, por lo que el volumen de obras puede considerarse incluida dentro del plan de trabajo.

El segundo tipo se define como el conjunto de actividades de reparación de los deterioros existentes, no importando el lugar donde se ubiquen, efectuadas con el objetivo primario de detener la tasa de deterioro del PCI. Este tipo de mantenimiento está asociado al concepto; al igual que el anterior, de atacar el problema en forma puntual, pero en este caso para los deterioros que tengan un nivel medio de severidad.

La mejor forma de ajustar de manera exacta a la cantidad de reparaciones es tras una inspección de pavimentos al 100% de las unidades de muestra (en adelante UM). La segunda opción es realizar la inspección al número de UM tal que se obtenga el 95% de confiabilidad, con lo que se extrapolarían los daños a las UM no evaluadas. Sin embargo y con la necesidad de incluir este tipo de reparaciones localizadas, que son la base para mantener el pavimento sobre su índice PCI crítico, establecido como 65, es que se plantea un volumen de reparaciones igual a un porcentaje del área de cada sección con una periodicidad constante cada cierto número de años.

A continuación, se presenta la política de mantenimiento localizada preventiva:

Tabla 4.1: Deterioros Pavimentos y Tipo de Reparación Localizada Preventiva

Pav	Cód.	Tipo de Deterioro	Tipo de Trabajo	Un
ASFALTO	43	GRIETAS EN BLOQUE		m
	47	GRIETA DE REFLEXIÓN	SELLO GRIETAS EN ASFALTO	m
	48	GRIETAS LONG,TRANSV		m
	49	DERRAME DE COMBUSTIBLE		m2
	54	PROTUBERANCIA ASF/HORM	BACHEO ASFÁLTICO SUPERFICIAL	m2
	55	GRIETAS POR RESBALAMIENTO		m2
	41	PIEL DE COCODRILO		m2
	45	DEPRESIONES		m2
	50	BACHEOS O PARCHES	BACHEO ASFÁLTICO PROFUNDO	m2
	53	AHUELLAMIENTO		m2
56	HINCHAMIENTO		m2	
HORMIGÓN	63	GRIETAS LONG,TRANSV	SELLO GRIETAS EN HORMIGÓN	m
	66	PARCHES MENORES		m2
	74	ASTILLAMIENTO DE JUNTURAS	BACHEO EN HORMIGÓN ESPESOR PARCIAL	m2
	75	ASTILLAMIENTO DE ESQUINA		m2
	61	BLOW UP		m2
	62	GRIETA DE ESQUINA	BACHEO EN HORMIGÓN ESPESOR TOTAL	m2
	67	PARCHES MAYORES		m2
	64	GRIETAS TIPO "D"		m2
	70	ESCAMADURAS .MAPEOS	REEMPLAZO LOSA	m2
	72	LOSAS DESTROZADAS		m2
	71	ESCALONAMIENTO	CEPILLADO (LOCALIZADO)	m2
	65	DAÑO AL SELLO DE JUNTURAS	SELLO JUNTURAS	m

Fuente: Elaboración Propia en base a MicroPaver

En la tabla anterior, se consideran todos los tipos de reparación asociados a los deterioros esperados, Sin embargo, a fin de no complejizar el plan global, se descartan algunos de los tipos de reparación, que según experiencia de este consultor e información recopilada existen en muy menor medida versus el resto y en nada influyen dentro del monto global de conservación. Estos son:

- Bacheo Asfáltico Superficial
- Cepillado en Hormigón.

En los otros casos los deterioros se incluirán según las consideraciones del plan de conservación indicadas en los párrafos siguientes. Cabe mencionar que, a pesar de no ser incluido dentro del programa, se incluye el análisis de PU de cada trabajo.

#### 4.1.2.1.2 Conservación Global preventiva

Este tipo de mantenimiento se aplica a sectores completos de pavimento con el objetivo primario de demorar o hacer más lenta la tasa de deterioro. Se incluyen los tratamientos superficiales (riegos) para los pavimentos asfálticos y el sello de juntas para los pavimentos rígidos entre otros. Se aplica a los pavimentos sobre el PCI Crítico ( $PCI \geq 65$  para el área de movimiento de aviones).

Para considerar su aplicación podrán tenerse en cuenta el índice PCI, los deterioros presentes en el pavimento y la densidad de éstos, la edad del pavimento, entre otros. A modo de consideración dentro de la programación, se estima su inclusión cuando el pavimento cumpla más de 10 años.

#### 4.1.2.1.3 Conservación Mayor

Este tipo de reparación considera:

- Recapado de pavimento asfáltico nuevo sobre estructura existente ya sea de hormigón o asfalto dependiendo de la zona
- Demolición parcial o total y estructura nueva



Se considera necesario cuando el pavimento se encuentre por debajo del PCI crítico o cuando se cumplan ciertos criterios de edad del pavimento, vida residual, entre otros.

#### 4.1.2.2 Diagrama de decisión

De acuerdo a lo anterior, se diseña un diagrama de decisión que presenta; en base a las características del pavimento, soluciones de mantenimiento. Este podrá ser efectuado con mayor precisión a medida que se cuente con más detalle entre inspecciones y las curvas del modelo de decisión puedan ser ajustadas.

Se sabe que a nivel nacional la Dirección de Aeropuertos ha designado un valor de 65 como un único valor de PCI crítico, bajo el cual es necesario contemplar un mantenimiento mayor para cualquier sea la zona dentro del área de movimiento. Sin embargo, el valor de PCI 70 marca el rango entre un pavimento *Bueno* a *Muy Bueno*; según clasificación ASTM, y *En Degradación* a *Adecuado*; según clasificación DAP, lo que puede verse en la siguiente tabla:

Tabla 4.2: Rangos PCI

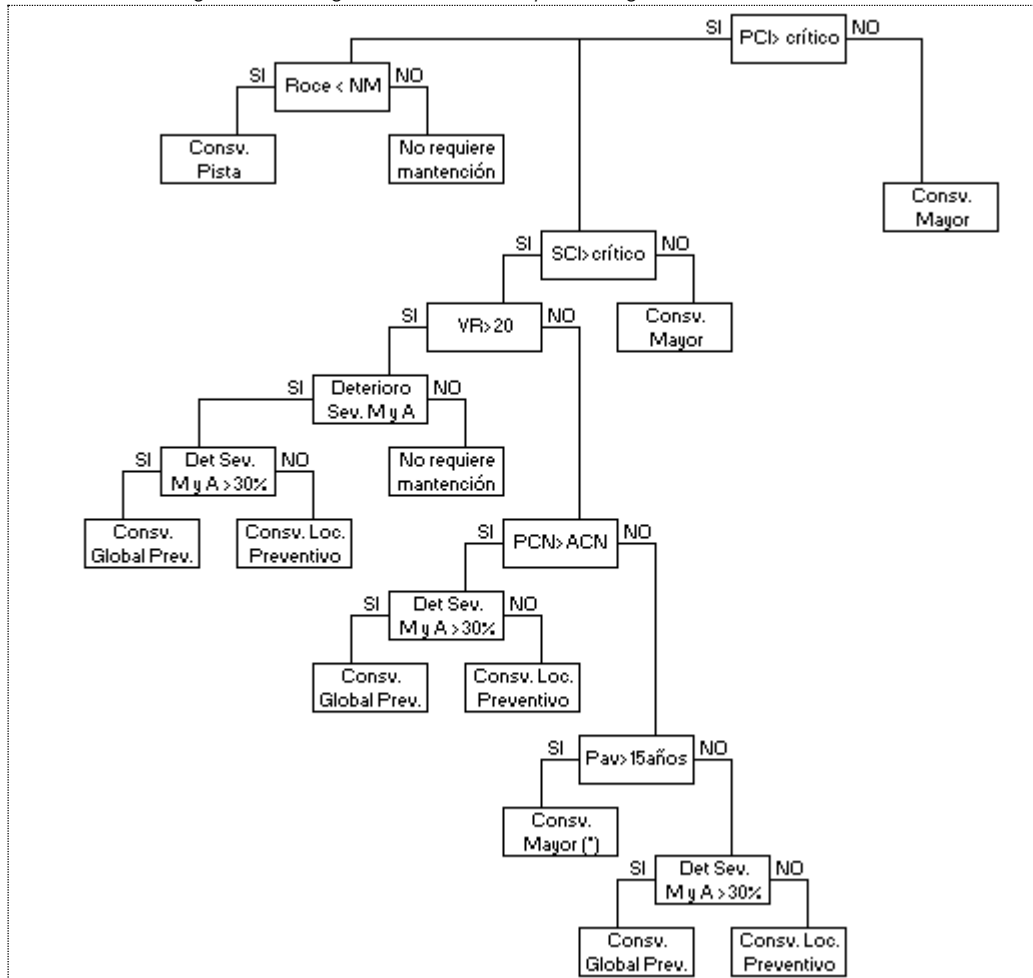
Rango PCI	Clasificación Pavimento ASTM	Clasificación Pavimento DAP
86-100	Excelente	Adecuado
71-85	Muy Bueno	
56-70	Bueno	En degradación
41-55	Regular	Insatisfactorio
26-40	Malo	
11-25	Muy Malo	
0-10	Falla	

Fuente: Elaboración Propia

Por tanto, se considera apropiado tener presente dentro del diagrama de decisión el rango PCI entre 70 y 65, ya que bajo 65 se recomienda un trabajo de conservación mayor y por sobre PCI 70; en general, trabajos localizados. Pero lo que se estime entre estos dos valores; que a simple vista puede resultar un bajo rango de decisión, es significativo cuando se consideran tipos de daños, densidades y severidades de estos en un pavimento. Si bien este valor no se encuentra explícito en la red de decisión, si es necesario tener en consideración cuando se estén evaluando los trabajos de mantenimiento, pudiendo adelantar las obras de conservación mayor, si el valor de PCI se acerca a 70 y existe falencia en la vida residual, o el PCN es insuficiente o existen deterioros en aumento tanto en severidad como en cantidad, en especial si son reflejo de la fatiga del material provocados por carga.

Se recomienda mantener un registro abultado de reparaciones versus índices, de un seguimiento al comportamiento de las vidas residuales insuficientes, del comportamiento de la edad del pavimento, entre otros, para afinar lo que a continuación se propone.

Figura 4.1: Diagrama de Decisión para Programa de Conservación



Fuente: Elaboración propia

Nota:

- (\*) La Conservación Mayor para un pavimento de más de 15 años cuando la  $VR < 20$  y  $SCL >$  crítico, deberá contemplar el análisis del momento óptimo de mantención, según presupuesto asociado, número de operaciones, otros trabajos dentro del aeropuerto, zona, etc.
- Si bien no se establece un  $SCL$  crítico, se estima que este debe estar por sobre los 65, ya que no aumenta en igual proporción que el  $PCI$ , pudiendo considerarse un rango apropiado de  $SCL$  crítico  $< 70$ .
- $Det\ Sev\ M\ y\ A > 30\%$ : Deterioro severidad Media y Alta superior al 30% del área de la sección.
- $Roce < NM$ , analiza el coeficiente de roce; según el equipo con que se evalúe, si este es inferior al Nivel de Mantenimiento; nivel que también cambia según el equipo con que se evalúe. La conservación consistirá generalmente en retiro de caucho que a menudo lo realizan las empresas concesionarias o DGAC.

#### 4.1.2.3 Criterios de conservación

Cabe mencionar que; según análisis de otros estudios y de planes de mantenimiento generales, la programación de conservaciones localizadas preventivas será únicamente un indicador para alertar o recordar que se deben considerar trabajos dentro del aeropuerto asignándole recursos, sin embargo la cantidad de las mismas y su ubicación es de difícil o imposible proyección en el escenario actual, por la escasa información de la evolución de los deterioros, severidad y cantidad, versus su índice  $PCI$  o edad y por las buenas condiciones en que se encuentran los pavimentos; en general, de la zona norte. Sin embargo y con el fin de mantener las curvas de evolución, se plantean cantidades de trabajos localizados según ciertos criterios a enunciar.

Para la aplicación de un plan de mantenimiento se tienen las siguientes consideraciones, basados en literatura y estudios al respecto, características de los pavimentos del país y experiencia de este consultor, entre otros:



- Se estima que antes de los 5 años el pavimento no sufrirá daños con un nivel de severidad que requiera mantenimiento
- Se estima que antes de los 10 años es inusual que el pavimento sufra deterioros por carga en severidad media a alta que requiera reparación, pudiendo ser detectado en forma puntual algún daño que para el caso de un plan global será descartado.
- Como criterio conservador, se consideran trabajos de mantenimiento localizado preventivo cada 5 años aprox., ya sea para pavimentos asfálticos como de hormigón. El plantearlo cada 5 años es únicamente una simplificación del plan, evitando incluir anualmente un volumen inferior de las mismas reparaciones localizadas preventivas por sección. Se cuida; en lo posible, no coincidir con trabajos de conservación mayor que amplifiquen demasiado el presupuesto de un año versus otro.
- Los trabajos de mantenimiento localizado comienzan a partir de los 6 años de edad del pavimento.
- Se estima; en general, que los pavimento serán afectados en un 5% del área total cada 5 años para trabajos del tipo bacheos y en igual porcentaje de área para trabajos del tipo sello de grietas. Esto como valor promedio de un plan de gestión, según experiencia del consultor para pavimentos zona norte. A medida que se cuente con mayor cantidad de datos evolutivos, podrá afinarse la cantidad de daños a reparar y ajustar la periodicidad con el que se efectúan estas reparaciones. Esto considera en forma inherente que será necesario complementar el plan de conservación con inspecciones visuales del pavimento para determinar en forma efectiva las necesidades de reparación.
- Se considera que el 5% del área afectada en pavimento flexible requerirá igual cantidad de área en reparación del tipo bacheo en m<sup>2</sup> e igual cantidad en metro lineal para reparaciones del tipo sello de grietas. En otras palabras, en un (1) m<sup>2</sup> de pavimento existirá un (1) ml de grieta y en un (1) m<sup>2</sup> de pavimento con daño estructural, deberá repararse un (1) m<sup>2</sup> con bacheo. Por lo tanto, si bien ambos valores serán iguales en cantidad, la unidad y el monto será el que difiera dentro del plan.
- El área a intervenir; en un pavimento rígido, se asociará a un tamaño de losa estándar de 5 x 5m con el fin de poder generalizar los volúmenes de reparación. Con ello, el área global de hormigón se traduce en una cantidad de losas de 25m<sup>2</sup>, luego las reparaciones corresponderán al 5% del número de losas resultante para sello de grietas y bacheos espesor parcial y al 1% para bacheos espesor total y reemplazo de losas.
- No se considera una evolución de los deterioros en forma exponencial, por lo que la cantidad de área afectada por deterioros que requieran mantención a lo largo de su vida útil no tendrá; en general, un factor creciente.
- Para los pavimentos rígidos se considera sello de juntas cada 10 años a partir de los 10 años aprox. del pavimento en adelante.
- Para los pavimentos flexibles a partir de los 10 años de edad, podrá considerarse una conservación global preventiva del tipo sello asfáltico, esto previo a las reparaciones localizadas de los deterioros en severidad media a alta. Lo anterior podrá o no estar dentro del plan de mantenimiento, no viendo afectada la evolución del índice.
- El plan de mantenimiento localizado preventivo considera los trabajos más recurrentes para cada tipo de pavimento, pudiendo en la realidad requerir algún otro tipo de reparación que a modo global es indiferente para el monto final del estudio (como fue indicado en 2.1.1)
- El tipo de conservación mayor podrá tener las alternativas indicadas en el informe estructural de la etapa anterior, pudiendo recapar sobre lo existente o reconstruir desde la subrasante, ello dependiendo del presupuesto con el que se cuente, el tiempo para ejecutar las obras, entre algún otro factor que surja en la planeación de los trabajos.
- El plan considera que las operaciones anuales se ajustan a lo proyectado. Algún cambio de flota o aumento considerable de ésta podrá afectar en forma negativa a la evolución del pavimento, a la vida residual y a la estructura proyectada.
- Considerando que según los modelos de deterioro los pavimentos no descienden al índice crítico dentro de su vida útil, se plantea una conservación mayor cuando el pavimento supere los 20 años de edad para carpetas asfálticas y 30 años para carpetas rígidas, pudiendo priorizar en aquellos que arrojan actualmente una vida residual insuficiente.
- No se considera límite presupuestario, por lo que una vez el pavimento cumpla los requerimientos de conservación mayor, no se prioriza por zonas, dejando a criterio del ejecutor del plan rankear las secciones según nivel de importancia, en caso de no contar con el monto total según el año de conservación.

Aludiendo a que el estudio termina en el segundo semestre del año 2021, y considerando que la inversión para el año siguiente se solicita con antelación, las obras se proyectan a partir del año 2023, con el fin que se cuente con



- un presupuesto para ello. Queda a criterio de la IF o del ejecutor del plan adelantar los trabajos si así se estima conveniente.

#### 4.1.2.4 Características del aeropuerto

De acuerdo a lo indicado en las etapas anteriores del estudio, se tiene la siguiente información del aeropuerto

Tabla 4.3: Características de cada Sección

Rama	Sección	Pav.	Área (m <sup>2</sup> )	Año constr.	Edad al 2021	PCI 2021	SCI 2021	Modelo deterioro	Vida Residual	PCN>ACN	Grupo	Área Grupo
Plataforma	PL-1	H	16.401	2004	17	98	99	N C P L H	0	NO	H1 (PL)	16.401
Pista	PI-1	A	29.400	2004	17	85	94	N C P A	>20		A 1 (P)	106.180
Pista	PI-2	A	58.800	2004	17	95	100	N C P A	>20			
Pista	U17	A	8.990	2004	17	85	100	N C P A	>20			
Pista	U35	A	8.990	2004	17	92	100	N C P A	>20			
Rodaje	RB-1	A	8.177	2004	17	94	98	N C R A	>20		A 2 (R)	30.554
Rodaje	RC-1	A	9.181	2004	17	95	100	N C R A	>20			
Rodaje	RD-1	A	13.196	2004	17	96	100	N C R A	>20			
Plataforma	PL-2	A	11.497	2004	17	94	100	N C P L A	>20		A 3 (PL)	11.497
Plataforma	PL-3	A	6.400	2004	17	95	100	N A G A	>20	NO	A 4 (AG)	6.400

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla anterior, se han ordenado las diferentes secciones del aeropuerto, respecto a la edad y tipo de pavimento. Para analizar un potencial plan de mantenimiento es a bien agrupar según el modelo de deterioro. Sin embargo, según la información recopilada, se comprueba que, con estos modelos de deterioro, el índice PCI y aun más el SCI, no llegan a acercarse a niveles críticos en toda la vida útil del pavimento. Lo anterior, porque se entiende que existen conservaciones localizadas preventivas en forma periódica, que atacan al daño en forma puntual cuando se encuentra en etapa inicial o media de su evolución e inciden que la condición del pavimento nunca esté límite de su índice crítico.

Aún con ello, y para elaborar un plan que incluya conservaciones en forma masiva que sean atractivas para una empresa contratista y que agilicen el proceso de mantención, es que se han asociado en 4 grupos para aviación comercial, 1 de hormigón y 3 de asfalto, en tanto que se tiene 1 grupo de asfalto para aviación general, siguiendo el modelo de deterioro, en donde incidirá la ubicación, tipo de pavimento, y se le sumará la edad del pavimento. Dentro de estos grupos puede visualizarse que existen secciones donde su estructura es insuficiente según la flota proyectada, por ende, se estima que una vez cumplan su vida útil, serán estas secciones las que se podrán priorizar trabajos de conservación mayor, creando con ello nuevos subgrupos, ello si se cuenta con un límite presupuestario, de lo contrario el grupo completo estará sujeto a trabajos de conservación mayor.

Cabe mencionar que esta es una de las múltiples posibilidades de destinación de recursos, pudiendo por ejemplo no considerar las agrupaciones de pavimentos similares y contemplar conservaciones localizadas cada una cierta cantidad de años para todos los pavimentos existentes al unísono en un porcentaje estipulado o bien conservaciones anuales en un porcentaje inferior. Quedará a criterio del ejecutor del plan verificar si este se ajusta a la realidad los siguientes años, con nuevas evaluaciones y ajustar según los resultados venideros y considerar las limitantes operacionales que causen los trabajos, además del presupuesto y otras variables que incidan en la toma de decisiones.

Finalmente se indica que en la inspección actual, en general todos los pavimentos rondan la calificación de excelente o muy buena, con una nula o muy pequeña tasa de deterioros en severidad media a alta, que requieren de reparación, siendo esta inferior al 1% del área afectada, por lo que es inapropiado considerar un porcentaje excesivamente alto de reparación al año 1 del plan de mantenimiento; considerando el año 0 el 2021 donde se realizó la inspección, teniendo datos tangibles que indican que no existirá un volumen tal a reparar.



#### 4.1.2.5 Programa de conservación

A continuación, se presenta el programa de conservación anual en un horizonte de 20 años, de acuerdo a los criterios antes descritos.

Tabla 4.4: Detalle Programa Conservación Anual

N	AÑO	RAMA	GRUPO	ÁREA	AÑO CONSTR.	EDAD	TRABAJO DE MANTENIMIENTO	TIPO	CANTIDAD	UN	PU \$	VALOR TOTAL \$	VALOR ANUAL \$	ACUMULADO \$
1	2022											0	0	0
2	2023											0	0	0
3	2024	Pista	A 1 (P)	106.180	2004	20	Sello de grietas asfalto	LP	5.309	m	7.153	37.975.277	346.077.783	346.077.783
							Bacheo profundidad total asfalto	LP	5.309	m2	58.034	308.102.506		
4	2025	Rodaje	A 2 (R)	30.554	2004	21	Sello de grietas asfalto	LP	1.528	m	7.153	10.929.784	99.605.736	445.683.519
							Bacheo profundidad total asfalto	LP	1.528	m2	58.034	88.675.952		
5	2026	Plataf	A 3 (PL)	11.497	2004	22	Sello de grietas asfalto	LP	575	m	7.153	4.112.975	88.019.345	533.702.864
							Bacheo profundidad total asfalto	LP	575	m2	58.034	33.369.550		
							Sello de grietas hormigón	LP	164	m	7.153	1.173.092		
	2026	Plataf	H1 (PL)	16.401	2004	22	Bacheo profundidad parcial hormigón	LP	8	m2	156.586	1.252.688		
							Bacheo profundidad total hormigón	LP	0	m2	192.475	0		
							Reemplazo de losas	LP	0	m2	166.744	0		
Sello de juntas	LP	6.560	m	7.334	48.111.040									
6	2027	Plataf	A 4 (AG)	6.400	2004	23	Sello de grietas asfalto	LP	320	m	7.153	2.288.960	20.859.840	554.562.704
						Bacheo profundidad total asfalto	LP	320	m2	58.034	18.570.880			
7	2028											0	0	554.562.704
8	2029											0	0	554.562.704
9	2030	Pista	A 1 (P)	106.180	2004	26	Demolición espesor total y nueva estructura (asfalto)	M	106.180	m2	65.745	6.980.804.100	6.980.804.100	7.535.366.804
10	2031	Rodaje	A 2 (R)	30.554	2004	27	Demolición espesor total y nueva estructura (asfalto)	M	30.554	m2	65.745	2.008.772.730	2.008.772.730	9.544.139.534
11	2032	Plataf	A 3 (PL)	11.497	2004	28	Demolición espesor total y nueva estructura (hormigón)	M	11.497	m2	186.541	2.144.661.877	2.144.661.877	11.688.801.411
12	2033	Plataf	H1 (PL)	16.401	2004	29	Sello de grietas hormigón	LP	164	m	7.153	1.173.092	37.278.321	11.726.079.732
							Bacheo profundidad parcial hormigón	LP	8	m2	156.586	1.252.688		
							Bacheo profundidad total hormigón	LP	39	m2	192.475	7.506.525		
							Reemplazo de losas	LP	164	m2	166.744	27.346.016		
							Sello de juntas	LP	0	m	7.334	0		
13	2034										0	0	11.726.079.732	
14	2035	Plataf	A 4 (AG)	6.400	2004	31	Demolición espesor total y nueva estructura (asfalto)	M	6.400	m2	38.178	244.339.200	244.339.200	11.970.418.932
15	2036										0	0	11.970.418.932	
16	2037										0	0	11.970.418.932	
17	2038	Pista	A 1 (P)	106.180	2030	8	Sello de grietas asfalto	LP	5.309	m	7.153	37.975.277	37.975.277	12.008.394.209
							Bacheo profundidad total asfalto	LP	0	m2	58.034	0		
18	2039	Rodaje	A 2 (R)	30.554	2031	8	Sello de grietas asfalto	LP	1.528	m	7.153	10.929.784	10.929.784	12.019.323.993
							Bacheo profundidad total asfalto	LP	0	m2	58.034	0		
19	2040	Plataf	H 2 (PL)	11.497	2032	8	Sello de grietas hormigón	LP	115	m	7.153	822.595	1.762.111	12.021.086.104



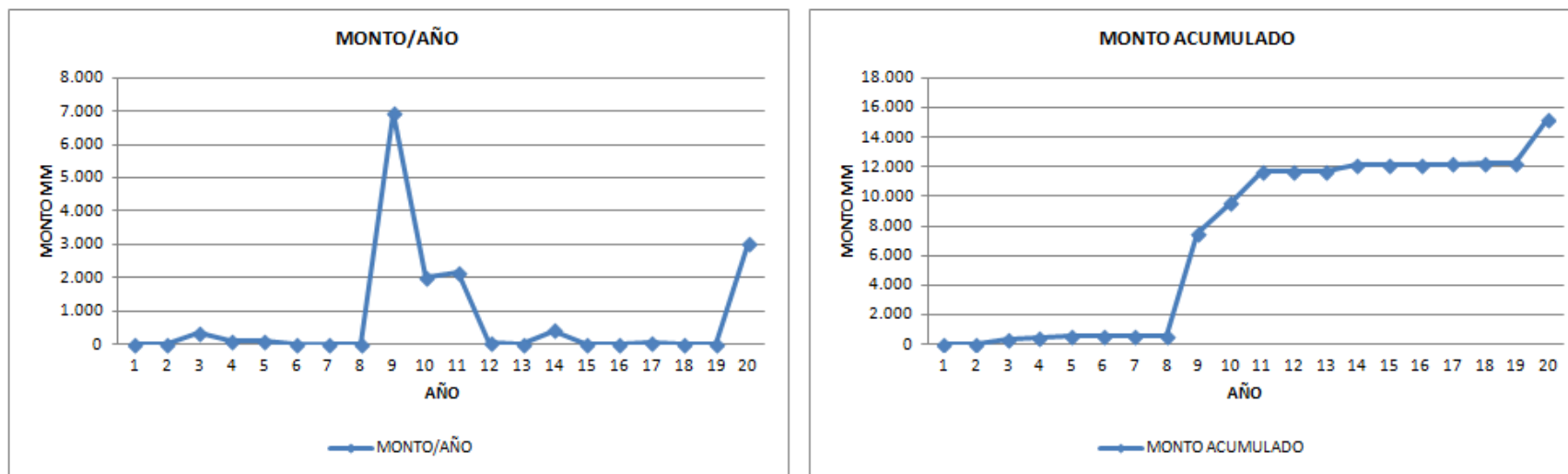
N	AÑO	RAMA	GRUPO	ÁREA	AÑO CONSTR.	EDAD	TRABAJO DE MANTENIMIENTO	TIPO	CANTIDAD	UN	PU \$	VALOR TOTAL \$	VALOR ANUAL \$	ACUMULADO \$
							Bacheo profundidad parcial hormigón	LP	6	m2	156.586	939.516		
							Bacheo profundidad total hormigón	LP	0	m2	192.475	0		
							Reemplazo de losas	LP	0	m2	166.744	0		
							Sello de juntas	LP	0	m	7.334	0		
20	2041	Plataf	H1 (PL)	16.401	2004	37	Demolición espesor total y nueva estructura (hormigón)	M	16.401	m2	186.541	3.059.458.941	3.059.458.941	15.080.545.045

Fuente: Elaboración Propia

LP: Localizado Preventivo

M: Mayor

Figura 4.2: Curva de Gastos Anual y Acumulada



Fuente: Elaboración Propia

OBSERVACIONES

- Los precios no consideran IVA. Los precios consideran Gastos Generales y Utilidades.
- Valor PU \$, según documento AZN20-AT-PM-PU-01: Análisis de Precios Unitarios, basado en trabajos de conservación de los últimos años y consultas a empresas según parámetros por región.
- Las conservaciones mayores en general se consideran por vida útil de aprox 20 años, pero se puede contrastar con la condición del pavimento que tenga en ese momento.
- Si se tiene presupuesto limitado se debe contrastar la condición del pavimento en el año estimado para conservaciones mayores y dar prioridad a zonas más dañadas o de mayor relevancia. Si todas están en similares condiciones, preponderar las de mayor uso y las que su vida residual o pcn sea insuficiente
- Las zonas de hormigón en la zona norte tienen un excelente comportamiento por lo que las conservaciones mayores son más espaciadas en el horizonte del programa de mantenimiento. Lo anterior deberá ser contrastado según inspecciones en los años venideros
- Cualquier sección en construcción al momento del estudio, de las que no se conoce estructura o geometría deberá ser incluida dentro del plan una vez se encuentre terminada. Misma situación para secciones nuevas que se construyan a lo largo del horizonte del plan de mantenimiento, pudiendo asociarlas a algún grupo existente si así correspondiese o bien crenado un nuevo grupo de mantenimiento. Lo anterior deberá ser parte de los trabajos del ejecutor del plan.
- Las conservaciones mayores pueden considerar reconstrucción total o recapado, según zona o presupuesto. En esta se incluye nueva estructura completa pero se deja a criterio del ejecutor del plan la que considere más óptima
- La edad considerada para cada grupo es un promedio de la edad de cada sección dentro del grupo. De cualquier forma la agrupación se hizo tal que no existiera más de 4 años de diferencia



entre ellos

- Se entiende que todas las conservaciones están sujetas a disponibilidad de recursos y previa evaluación in situ antes de licitar las conservaciones respectivas, siendo el plan entregado una estimación al comportamiento del pavimento y sus necesidades de reparación. Así mismo, el ejecutor del plan podrá separar o juntar conservaciones según disponibilidad de presupuesto y cercanía entre sectores a intervenir entre otros.
- Las conservaciones mayores en zonas de plataforma se desarrollan en pavimento de hormigón incluso si actualmente pudiesen ser de asfalto, excepto en plataformas de aviación general.



## 4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESPECIALES

### 4.2.1 Antecedentes Generales

La ejecución de los trabajos deberá ceñirse a las presentes Especificaciones Técnicas Especiales, Especificaciones Técnicas Generales, a los Planos y a las indicaciones de la Inspección Fiscal, en adelante I.F.

Estas Especificaciones Técnicas Especiales complementan a las Especificaciones Técnicas Generales y las modifican en aquellos aspectos que se señalan.

Al inicio de los trabajos especificados en el presente documento, deberá existir un stock de materiales necesarios para la completa ejecución de cada etapa.

En cada una de las áreas y etapas consideradas en la materialización de las obras incluidas y especificadas en este documento, deberá existir la señalización requerida, de acuerdo a los requisitos vigentes a la fecha de inicio de los trabajos.

Las obras consideradas en el siguiente documento se dividirán en Conservación mayor y conservación rutinaria para el Aeropuerto Desierto de Atacama en Copiapó.

#### 4.2.1.1 Consideraciones generales

Ante cualquier discrepancia entre los antecedentes del proyecto, estos prevalecerán en el siguiente orden:

- Especificaciones Técnicas Especiales, en adelante ETE
- Planos del Proyecto
- Especificaciones Técnicas Generales; en adelante ETG

En cada una de las áreas y etapas consideradas en la materialización de las obras incluidas en este proyecto y especificadas en el presente documento, al contratista se le deberá exigir la utilización de los elementos de seguridad y de señalización requeridos.

El contratista, deberá efectuar con la entidad correspondiente (Dirección General de Aeronáutica Civil; en adelante DGAC) las coordinaciones necesarias para que los trabajos durante la etapa de ejecución afecten en el mínimo posible el desarrollo habitual de las operaciones tanto comerciales como civiles dentro del recinto aeroportuario.

Por otra parte, tanto el personal como los vehículos que ingresen al recinto aeroportuario, deberán contar con la autorización previa de la DGAC; Tarjetas de Ingreso Controlado al Aeropuerto (TICA) para el personal a trabajar y Pase de Acceso Vehicular (PAV) para los vehículos a utilizar en el desarrollo de los trabajos correspondientes. En todos los casos, se tendrá comunicación radial digital con la Torre de Control antes, durante y cuando se finalice la jornada laboral. Los equipos de comunicación deberán ser compatibles con las frecuencias utilizadas por el Aeropuerto y serán provistos por el contratista y considerado en sus gastos generales.

Considerando que el aeropuerto estará operativo, excepto las áreas de intervención y etapas consideradas en la ejecución de las obras, deberá existir la señalización requerida de acuerdo a la normativa vigente establecida por la DGAC, actividad que deberá ser coordinada a través de la I.F.



## 4.2.2 Conservación Mayor

### 4.2.2.1 Fresado de pavimentos asfáltico

#### 4.2.2.1.1 *Descripción Y Alcances*

El siguiente ítem corresponde a los cortes de la primera capa de material para obtener un nuevo perfil longitudinal y transversal de un pavimento asfáltico existente mediante el fresado en frío parcial o total de las capas asfálticas.

El Contratista debe tomar todas las medidas que sean necesarias con el fin de no dañar los pavimentos aledaños al sector a fresar y repavimentar.

#### 4.2.2.1.2 *Materiales*

Para las obras que se refiere en este ítem, no requiere de materiales.

El material de fresado será llevado a botadero autorizado previamente por la I.F. En caso de contemplar la reutilización del material de fresado para obras dentro del recinto, este deberá ser acopiado en los lugares que indique la I.F. previa autorización de la autoridad aeronáutica.

#### 4.2.2.1.3 *Equipo*

Los trabajos de fresado, deberán ser desarrollados con maquina fresadora de pavimento asfáltico acorde a las dimensiones de los bacheos a ejecutar, esta máquina deberá ser autopropulsada y con sistema de recolección del material triturado en base a correas transportadoras que dispondrán el material en camiones, los que serán depositados dentro del recinto del aeródromo donde disponga la Inspección Fiscal.

#### 4.2.2.1.4 *Procedimiento de trabajo*

El fresado se efectuará sobre el área y espesor que indiquen los documentos del proyecto y apruebe la I.F., a temperatura ambiente y sin adición de solventes u otros productos ablandadores que puedan afectar la granulometría de los agregados o las propiedades del asfalto del pavimento existente.

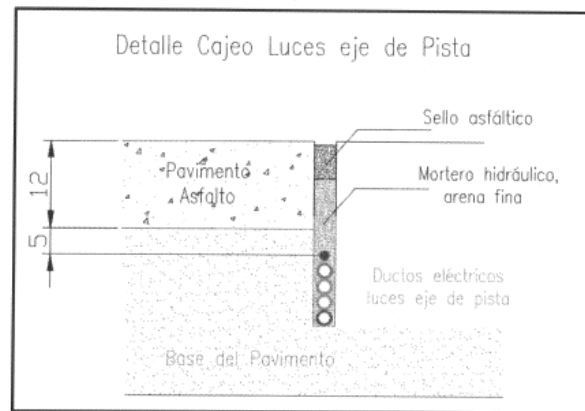
La operación de fresado se deberá efectuar cuidando de no desgarrar ni romper el pavimento subyacente, o adyacente. El trabajo de fresado se podrá realizar en varias capas hasta alcanzar el espesor del proyecto, debiendo quedar una superficie nivelada y sin fracturas.

El proceso de fresado y retiro del material resultante de la operación deberán ejecutarse de forma simultánea, no se aceptará acopiar el material fresado sobre la superficie del pavimento a la espera de su retiro posterior.

El fresado se realizará con maquina fresadora hasta 20 cm antes y 20 cm después del cajeo eléctrico, balizas, barreras FACH, y toda infraestructura eléctrica pertinente en el sector, realizando posteriormente la extracción del asfalto en este tramo de forma manual.

El cajeo eléctrico superficialmente posee un sello asfáltico en aproximadamente 3cm, y bajo esto posee mortero hidráulico. Al ejecutar el retiro del asfalto y posteriormente el mortero hidráulico, se deberá tener especial cuidado de no dañar los ductos eléctricos existentes. Cualquier daño que se ocasione a las instalaciones eléctricas deberá ser inmediatamente reparado por el Contratista, a su costo.

Figura 4.3: Detalle Cajeo Luces eje de Pista



Realizado el fresado, se debe eliminar cualquier tipo de residuo asfáltico sobre la base chancada existente.

La empresa constructora deberá efectuar un levantamiento topográfico del área de movimiento antes de ejecutar los trabajos, esto con la finalidad de controlar el espesor de fresado y de restituir con la mayor precisión las cotas de la superficie a fresar. El control topográfico deberá ser constante a medida que se ejecuta el fresado, con la finalidad de evitar errores de compactación, hundimiento o desniveles que afecten la regularidad del pavimento original.

- Criterio de Control

Se establece un espesor mínimo de 5 mm para los trabajos de fresado, las áreas que resulten altas con respecto a las cotas del proyecto, deberán rebajarse, regarse y compactarse nuevamente. Las eventuales deficiencias en cotas, con respecto a las establecidas en el proyecto, serán superadas por cuenta de la empresa contratista con material de la capa superior. Se admitirá una tolerancia por defecto de las cotas de la superficie resultante, respecto de las de proyecto o las que indiquen la I.F., hasta de dos milímetros (2 mm).

El control para determinar el espesor que efectivamente fue fresado, se deberá llevar a cabo mediante un levantamiento topográfico posterior a las labores de fresado, donde se comparará las cotas de la rasante existente con las de la superficie resultante luego de terminado el proceso.

- Limpieza de la Superficie Tratada

Al finalizar la operación de fresado, la superficie del pavimento asfáltico deberá encontrarse limpia, por lo tanto, el contratista contando con el correspondiente V° B° de la I.F., deberá realizar las operaciones de barrido y/o soplado que se requieran para lograr tal condición.

Luego de terminada la faena del fresado de la carpeta asfáltica, se procederá a realizar un compactado de la base, en caso que se haya llegado hasta esta, controlando la terminación superficial del área trabajada de acuerdo a las indicaciones establecidas en las ETG N°12 "Capa De Base De Material Chancado", que se adjuntan. Se deberá tener especial cuidado de no transitar sobre el área trabajada y previo a la aplicación del material imprimante, la superficie deberá estar libre de suciedad, manchas de aceite, sobre tamaño y cualquier elemento extraño que pudiera contaminar la estructura del pavimento. En caso que el fresado retire solo una parte de la carpeta asfáltica, de igual modo, se deberá cuidar de no contaminar el área previa a la aplicación del riego de liga

#### 4.2.2.1.5 Unidad de Medida y Pago

El fresado de pavimento asfáltico se medirá y pagará por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de fresado, debidamente aprobado por la I.F. El precio unitario será a plena compensación por todas las operaciones necesarias para ejecutar el ítem conforme a estas especificaciones especiales. Incluye los costos de fresado, las operaciones necesarias de barrido y soplado, el carguío, transporte, descargue y acopio del material fresado en los sitios establecidos, la reparación a satisfacción de todos los



elementos que hayan sido afectados por la ejecución de los trabajos y en general todo costo relacionado con la correcta ejecución del fresado del pavimento asfáltico.

#### 4.2.2.2 Demolición parcial de pavimento asfáltico

##### 4.2.2.2.1 *Descripción y Alcances*

Consiste en la demolición, remoción y transporte a botadero del pavimento asfáltico que deba ser retirado. La remoción incluirá pavimento hasta alcanzar la cota de la base granular, la que se debe verificar que mantenga sus propiedades de resistencia para ser utilizada nuevamente.

##### 4.2.2.2.2 *Materiales*

Las obras a las que se refiere esta unidad de obra no requieren el uso de materiales. El producto de la Remoción de Pavimentos se deberá llevar a botadero autorizado por la I.F. fuera del recinto Aeroportuario.

##### 4.2.2.2.3 *Equipo*

Se utilizará maquinaria de tipo retroexcavadora con acción demolición, cargador con capacidad de cuchara de hasta 4.4 m<sup>3</sup> y potencia neta de hasta 150 kW para acopio y camión tolva 15m<sup>3</sup> para el traslado a botadero.

##### 4.2.2.2.4 *Procedimiento de Trabajo*

La demolición se deberá realizar mediante medios mecánicos, el retiro del material se hará de forma continua a medida se vaya generando material. Se cuidará evitar dañar los pavimentos no incluidos dentro de las zonas a intervenir y de la capa granular inferior a la capa de rodado. En caso que se dañe pavimento que no esté contemplado dentro del proyecto, deberá ser repuesto por el contratista a su costo y deberá ser aprobado por la I.F.

##### 4.2.2.2.5 *Unidad de Medida y Pago*

Se cuantificará por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de pavimento demolido, de cualquier espesor o composición. Incluye troceado, demolición, remoción y transporte a botadero autorizado.

#### 4.2.2.3 Demolición total de pavimento asfáltico

##### 4.2.2.3.1 *Descripción y Alcances*

Consiste en la demolición, remoción y transporte a botadero del pavimento asfáltico que deba ser retirado. La remoción incluirá pavimento hasta alcanzar la cota de subrasante de las nuevas estructuras, las cuales deben ser removidas por capas para evitar contaminar las capas entre sí, y que de ser posible las capas granulares puedan ser reutilizadas. La excavación de base, subbase y material natural, en caso de necesitarse para llegar a la subrasante de proyecto, se hará de acuerdo al Ítem ETG N° 9 "Excavación y Construcción de Terraplenes", incluidas en documento adjunto.

El material granular removido podrá ser utilizado en caso que cumpla con las especificaciones de mejoramientos y/o terraplenes. De no cumplir lo anterior, deberá ser traslado a botadero mencionado.

##### 4.2.2.3.2 *Materiales*

Las obras a las que se refiere esta unidad de obra no requieren el uso de materiales. El producto de la Remoción de Pavimentos se deberá llevar a botadero autorizado por la I.F. fuera del recinto Aeroportuario.



#### 4.2.2.3.3 *Equipo*

Se utilizará maquinaria de tipo retroexcavadora con acción demolición, cargador con capacidad de cuchara de hasta 4.4 m<sup>3</sup> y potencia neta de hasta 150 kW para acopio y camión tolva 15m<sup>3</sup> para el traslado a botadero.

#### 4.2.2.3.4 *Procedimiento de Trabajo*

La demolición se deberá realizar mediante medios mecánicos, el retiro del material se hará de forma continua a medida se vaya generando material. Se cuidará evitar dañar los pavimentos no incluidos dentro de las zonas a intervenir. En caso que se dañe pavimento que no esté contemplado dentro del proyecto, deberá ser repuesto por el contratista a su costo y deberá ser aprobado por la I.F.

#### 4.2.2.3.5 *Unidad de Medida y Pago*

Se cuantificará por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de pavimento demolido, de cualquier espesor o composición incluyendo capa granular. Considera troceado, demolición, remoción y transporte a botadero autorizado.

#### 4.2.2.4 *Demolición parcial de pavimento de hormigón*

##### 4.2.2.4.1 *Descripción y Alcances*

Consiste en la demolición, remoción y transporte a botadero del hormigón que deba ser retirado. La remoción incluirá pavimento hasta alcanzar la cota de la base granular, la que se debe verificar que mantenga sus propiedades de resistencia para ser utilizada nuevamente.

Para la intervención de las zonas con pavimento rígido, la demolición del pavimento deberá ajustarse a los requerimientos indicados en el punto 4.19 a) de las ETG N° 16 "Pavimento de hormigón Hidráulico".

##### 4.2.2.4.2 *Materiales*

Las obras a las que se refiere esta unidad de obra no requieren el uso de materiales. El producto de la Remoción de Pavimentos se deberá llevar a botadero autorizado por la I.F. fuera del recinto Aeroportuario.

##### 4.2.2.4.3 *Equipo*

Se utilizará maquinaria de tipo sierra para cortar hormigón, barras de acero de transferencia de carga o amarre (en caso de ser necesario), martillo manual de hasta 15Kb, y en caso de generar grandes áreas de demolición, podría utilizarse retroexcavadora con acción demolición, cargador con capacidad de cuchara de hasta 4.4 m<sup>3</sup> y potencia neta de hasta 150 kW para acopio y camión tolva 15m<sup>3</sup> para el traslado a botadero.

##### 4.2.2.4.4 *Procedimiento de Trabajo*

Cuando sea necesario remover una losa o borde de losa sin remover la losa adyacente, la junta entre la losa que se remueve y la que permanece debe primero cortarse en todo el espesor con una sierra para hormigón del tipo diamantada, cuidando no causar tensiones que se propaguen a través del corte de la junta y que cause deterioro en la losa de hormigón que no se remueve.

Si en el proceso de remoción se produce algún daño en la base, esta se debe ser reparada de manera que quede perfectamente lisa, a la cota que corresponda y la compactación se haga hasta obtener una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S. del Proctor Modificado, (NCh 1534/2 Of.1979), o al 80% de la densidad relativa, (ASTM D 4253Of.2000, y ASTM D 4254 Of.2000), según corresponda y de acuerdo a las ETG N°12 "Capa de Base Material Chancado".



Se procurará evitar daños a las zonas no incluidas en la intervención, en caso contrario, cualquier reposición de zonas no contempladas dentro del proyecto correrá por parte del Contratista.

#### 4.2.2.4.5 *Unidad de Medida y Pago*

La unidad de medida será el metro cúbico (m<sup>3</sup>) de remoción de pavimentos. El Contratista deberá considerar todas las operaciones y/o materiales necesarios para la ejecución de este ítem, conforme a esta especificación y demás documentos del contrato.

#### 4.2.2.5 Demolición total de pavimento de hormigón

##### 4.2.2.5.1 *Descripción y Alcances*

Consiste en la demolición, remoción y transporte a botadero del hormigón que deba ser retirado. La remoción incluirá pavimento, la capa granular existente bajo el antiguo pavimento, hasta llegar a la cota de subrasante, y en cualquier caso se hará de acuerdo al ítem “excavación y retiro” de estas especificaciones. Cada remoción debe realizarse por capas, de moto tal, de asegurar que no se produzca contaminación entre capas y que de ser posible las capas granulares puedan ser reutilizadas.

El material granular removido podrá ser utilizado en caso que cumpla con las especificaciones de mejoramientos y/o terraplenes. De no cumplir lo anterior, deberá ser traslado a botadero mencionado.

Para la intervención de las zonas con pavimento rígido, la demolición del pavimento deberá ajustarse a los requerimientos indicados en el punto 4.19 a) de las *ETG N° 16 “Pavimento de hormigón Hidráulico”*.

##### 4.2.2.5.2 *Materiales*

Las obras a las que se refiere esta unidad de obra no requieren el uso de materiales. El producto de la Remoción de Pavimentos se deberá llevar a botadero autorizado por la I.F. fuera del recinto Aeroportuario.

##### 4.2.2.5.3 *Equipo*

Se utilizará maquinaria de tipo retroexcavadora con acción demolición, cargador con capacidad de cuchara de hasta 4.4 m<sup>3</sup> y potencia neta de hasta 150 kW para acopio y camión tolva 15m<sup>3</sup> para el traslado a botadero.

##### 4.2.2.5.4 *Procedimiento de Trabajo*

Cuando sea necesario remover una losa o borde de losa sin remover la losa adyacente (a menos que tenga juntas con barra de traspaso de carga o junta machihembrada), la junta entre la losa que se remueve y la que permanece (incluyendo barras de traspaso de carga, barras de amarre o rodón) debe primero cortarse en todo el espesor con una sierra para hormigón del tipo diamantada, cuidando no causar tensiones que se propaguen a través del corte de la junta y que cause deterioro en la losa de hormigón que no se remueve.

En este caso se contempla la excavación de la base y subbase granular si corresponde, con medios mecánicos, hasta llegar a la cota de subrasante según las nuevas estructuras diseñadas.

Se procurará evitar daños a las zonas no incluidas en la intervención, en caso contrario, cualquier reposición de zonas no contempladas dentro del proyecto correrá por parte del Concesionario y/o su Contratista.



#### 4.2.2.5.5 *Unidad de Medida y Pago*

La unidad de medida será el metro cúbico (m<sup>3</sup>) de remoción de pavimentos, incluyendo capa granular. El Contratista deberá considerar todas las operaciones y/o materiales necesarios para la ejecución de este ítem, conforme a esta especificación, demás documentos del contrato.

#### 4.2.2.6 *Excavación y retiro*

##### 4.2.2.6.1 *Descripción Y Alcances*

Este ítem se refiere a las excavaciones de tierra o cualquier material granular, requeridas para conformar el perfil transversal de las secciones a intervenir. Las excavaciones incluyen el transporte de los materiales hasta los lugares previstos en el proyecto, sean estos terraplenes, botaderos autorizados u otros, cualquiera sea la distancia a recorrer.

Las excavaciones deberán alcanzar con exactitud las cotas y pendientes de proyecto, debiéndose respetar estrictamente las alineaciones, niveles, taludes y secciones transversales y deberán guiarse por lo especificado en las *ETG N° 9 "Excavación y Construcción de Terraplenes"*.

##### 4.2.2.6.2 *Materiales*

Las obras a las que se refiere esta unidad de obra no requieren el uso de materiales.

##### 4.2.2.6.3 *Equipo*

De acuerdo al área de extracción y la dureza del suelo, se puede considerar tanto maquinaria pesada del tipo retroexcavadora, como trabajo manual, con pala, picota, entre otros.

##### 4.2.2.6.4 *Procedimiento de Trabajo*

En las excavaciones no se prevé la presencia de napa de agua, la que, según los reportes de mecánica de suelos, no fueron detectadas en las profundidades de cotas inspeccionadas. En caso de encontrarse la napa activa, esta deberá tratar de acuerdo a las técnicas normales de construcción, ya sea deprimiendo la napa o cualquier otro método propuesto por el contratista y aprobado por la I.F.

Una vez excavado hasta la cota de subrasante, el sello de excavación deberá tener un grado de compactación del 95% de la Densidad Máxima Compactada Seca (DMCS) o 80% de Densidad Relativa (DR). Para lo anterior, al llegar a la profundidad indicada, se deberá escarificar el suelo de subrasante hasta una profundidad de al menos 30cm, salvo que el ingeniero de mecánica de suelo indique algo diferente de acuerdo al tipo de suelo, para luego proceder a la compactación requerida.

En la zona de intervención donde se coloque el nuevo pavimento, se excavará hasta alcanzar la cota de subrasante, de manera que se permita colocar las capas estructurales, quedando la composición y espesor de cada una de ellas.

Si en la cota de subrasante se encuentra terreno de poca calidad (CBR<3%, considerado material inadecuado), este material debe ser extraído y reemplazado, el material excavado (incluyendo material excavado en corte, bases o subbases en zonas de pavimentos a demoler) que no cumpliera con los requisitos de calidad para su reutilización se enviará a botadero, caso contrario, es decir, en caso de cumplir con las especificaciones indicadas podrá usarse en los terraplenes que se construyan.

##### 4.2.2.6.5 *Unidad de Medida y pago*

La unidad de medida será el metro cúbico (m<sup>3</sup>) de excavación y retiro de la base de material chancado, en conformidad con lo dispuesto en estas especificaciones.



#### 4.2.2.7 Base de material chancado

##### 4.2.2.7.1 *Descripción y Alcances*

Tanto para los pavimentos asfálticos como para los de hormigón, se construirá una base de material chancado del tipo P-209, con espesores indicados en los planos y de acuerdo a las ETG N°12 “Capa de Base de Material Chancado”.

##### 4.2.2.7.2 *Materiales*

Se utilizará material Chancado de acuerdo a lo indicado en las ETG N°12 “Capa de Base de Material Chancado”.

##### 4.2.2.7.3 *Equipo*

Se requiere camión tolva que permita el traslado del material granular a la zona de los trabajos y toda aquella herramienta necesaria para la colocación de la base chancada y su distribución homogénea y compacta.

##### 4.2.2.7.4 *Procedimiento de Trabajo*

Esta capa de base se colocará sobre la superficie del mejoramiento, terraplén o suelo escarpado compactado, según corresponda, la que deberá ser perfilada y compactada.

El tamaño máximo del agregado será de 2”. El material deberá ser compactado a una densidad mayor o igual al 95% de la DMCS obtenida en el ensayo Proctor Modificado. La base deberá compactarse con el mínimo de agua recomendado por el laboratorio, para alcanzar las densidades especificadas. El espesor de base indicado en los planos es de capa compactada de acuerdo con las E.T.G. Su colocación debe ser de tal forma que se asegure una homogeneidad del material en una o dos capas.

Se podrán aceptar porcentajes de material con caras fracturadas algo más bajos que los requisitos de las ETG. Así, para el porcentaje de material con una cara fracturada se aceptará una tolerancia de un 5%, es decir, 95% en una cara fracturada y 90% para el caso de material con dos caras fracturadas.

El procedimiento de trabajo, la compactación y los controles de densidad, en general se encuentra, se encuentran en las ETG N°12 “Capa de Base de Material Chancado”.

##### 4.2.2.7.5 *Unidad de Medida y Pago*

La unidad de medida y pago para este ítem, corresponde a metros cúbicos (m<sup>3</sup>). Este precio incluye el suministro, la colocación, el transporte, mano de obra, leyes sociales, equipo, herramientas y otros que puedan requerir para dar término a este ítem.

#### 4.2.2.8 Imprimación bituminosa

##### 4.2.2.8.1 *Descripción y Alcances*

Este ítem se refiere a los trabajos que deberá realizar el contratista para la aplicación de una imprimación bituminosa sobre la superficie de la Base Chancada, donde se proyecta la colocación de la mezcla asfáltica; con el objetivo de impermeabilizar, evitar la capilaridad, cubrir y ligar las partículas sueltas y proveer adhesión entre la base y la capa inmediatamente superior.

##### 4.2.2.8.2 *Materiales*

El tipo, grado, temperatura de aplicación y especificaciones de control del material bituminoso, se indican en las ETG N° 8 “Imprimación Bituminosa”.



#### 4.2.2.8.3 *Equipo*

El equipo a utilizar deberá consistir en un sistema autopropulsado que incluye un estanque de almacenamiento, un rociador a presión y dispositivos para calentar y mantener el material asfáltico a la temperatura apropiada durante la imprimación. Mayor detalle e indicaciones, se indican en las *ETG N° 8 "Imprimación Bituminosa" punto 3.2.*

#### 4.2.2.8.4 *Procedimiento de Trabajo*

Previamente a la colocación de la capa asfáltica y habiendo efectuado una limpieza exhaustiva de la superficie, se efectuará un riego de imprimación mediante asfalto emulsionado o rebajado. Dependiendo de la textura de la superficie a imprimir, la cantidad de asfalto a colocar en general estará comprendida entre 1,2 a 2,4 l/m<sup>2</sup> de superficie, debiéndose establecer la cantidad definitiva considerando un residuo mayor al 20% y obtener penetración mínima de 5 mm (o de 3 mm en caso de utilizar emulsiones), después de un tiempo de absorción o secado de 12 a 24 horas.

Los procedimientos de los trabajos se indican en el punto 3.3 de las *ETG N° 8 "Imprimación Bituminosa"*.

#### 4.2.2.8.5 *Unidad de Medida y Pago*

El riego de imprimación se medirá y pagará por litros (l) de emulsión efectivamente colocada.

#### 4.2.2.9 Riego de liga

##### 4.2.2.9.1 *Descripción y Alcances*

Este trabajo consiste en la aplicación de un riego bituminoso sobre una superficie asfáltica, con el objeto de producir adherencia con la capa asfáltica a construir sobre ella.

Una vez producido el "quiebre" (rápido, lento o controlado) del riego aplicado, se podrá comenzar con la colocación de la mezcla asfáltica del recapado.

El tipo de material bituminoso a usar deberá ceñirse en cuanto a calidad de los materiales, técnica de fabricación y a todos los aspectos pertinentes a las *ETG N° 7 "Riego de liga"*.

##### 4.2.2.9.2 *Materiales*

El material bituminoso deberá ser emulsión asfáltica, los que deberán cumplir con las especificaciones ASTM y rango de temperaturas de aplicación señalados allí.

##### 4.2.2.9.3 *Equipo*

El equipo deberá ser el apropiado para generar las condiciones necesarias para una ejecución total de las obras, dentro de los plazos estipulados.

El equipo, deberá tener un sistema de autopropulsado, que incluya un estanque de almacenamiento, un rociador a presión y dispositivos para calentar y mantener el material bituminoso a la temperatura apropiada, durante el riego asfáltico.

El Equipo de distribución deberá incluir, además, accesorios para rociado manual y toda la instrumentación necesaria que permita verificar en cualquier momento, la buena ejecución de los trabajos.



#### 4.2.2.9.4 Procedimiento de Trabajo

El riego de liga deberá ser aplicado solamente cuando la superficie a cubrir esté seca, libre de polvo, cuando la velocidad del viento imperante permita una distribución uniforme del material bituminoso y cuando la temperatura ambiente esté sobre 15°C. El riego no deberá ser ejecutado bajo neblina ni podrá ser iniciado ante una posibilidad inminente de lluvia.

El material bituminoso, incluido su emulsión, deberá ser aplicado de manera tal que el residuo asfáltico quede uniformemente distribuido en la superficie. El tipo de material bituminoso y tasa de aplicación deberán ser aprobados por el I.F. antes de su aplicación.

#### 4.2.2.9.5 Unidad de Medida y Pago

El riego de liga se medirá y se pagará por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de superficie cubierta, de acuerdo a la tasa establecida y aprobada por la I.F. Se podrá cuantificar opcionalmente por la cantidad de litros de riego efectivamente colocados, si así lo define posteriormente la I.F.

#### 4.2.2.10 Pavimento asfáltico

##### 4.2.2.10.1 Descripción y Alcances

Este ítem corresponde al pavimento asfáltico que será colocado según espesor determinado de carpeta asfáltica. La nueva carpeta podrá considerarse sobre base granular previa imprimación bituminosa o sobre una carpeta existente previamente fresada e imprimada con riego asfáltico.

La mezcla asfáltica a usar deberá ceñirse en cuanto a calidad de los materiales, técnica de fabricación y a todos los aspectos pertinentes a las ETG N° 1 "Pavimentos Bituminosos Tipo Mezcla en Planta" o en las ETG N° 1A "Pavimentos bituminosos tipo mezcla en planta diseñado por superpave", ambas ETG adjuntas de la que se optará por la más óptima de acuerdo a lo indicado por IF y utilizado por el Contratista. Técnicamente debe soportar aeronaves de peso bruto igual o mayor a 27.000Kg o presión de inflado de neumáticos igual o mayor a 690 kpa (100 psi).

La mezcla asfáltica deberá cumplir con la normativa medio ambiental, en caso de planta instalada en los terrenos del aeropuerto, deberá tener los medios necesarios para impedir cualquier contaminación con polvo o material particulado. Se usará una mezcla de tamaño máximo del material pétreo según el espesor de la capa de la mezcla, el que no podrá ser superior a la mitad de la capa a construir.

La capacidad de suministro de concreto asfáltico deberá cumplir holgadamente con el programa de avance de la obra. Deberá ser ecológica, en caso de planta instalada en los terrenos del aeropuerto, o sea, deberá tener filtros, para impedir cualquier contaminación con polvo o material particulado.

##### 4.2.2.10.2 Materiales

El material bituminoso será cemento asfáltico y deberá cumplir con todo lo indicado en la las ETG N° 1 "Pavimentos Bituminosos Tipo Mezcla en Planta" o en las ETG N° 1A "Pavimentos bituminosos tipo mezcla en planta diseñado por superpave", de acuerdo a lo indicado por IF.

El material bituminoso de acuerdo a la ETG N°1 deberá cumplir lo siguiente:

CEMENTO ASFÁLTICO	TIPO Y GRADO	ESPECIFICACION
Grado de Viscosidad	AC - 5	ASTM D3381 (T1 o T2)
	AC - 10	
	AC - 20	
	AC - 30	
	AC - 40	
	AR - 100	ASTM D3381 (T3)



CEMENTO ASFÁLTICO	TIPO Y GRADO	ESPECIFICACION
	AR - 2000	
	AR - 4000	
	AR - 8000	

La I.F. ordenará las tomas de muestras que estime necesarias para verificar que estos parámetros se cumplan en todas las partidas de material bituminoso que ingresen a la obra.

El contratista deberá proporcionar envases, según normas, para el muestreo de asfaltos y posterior envío a un laboratorio aprobado.

Para el caso de la ETG 1A, el material bituminoso deberá cumplir con lo siguiente:

PESO BRUTO AERONAVE	ALTA TEMPERATURA DEL GRADO PG PARA TODO TIPO DE PAVIMENTOS
≤ 12.500 lbs = 5.670 Kg	---
< 100.000 lbs = 45.360 Kg	1 Grado
> 100.000 lbs = 45.360 Kg	2 Grados
El grado de baja temperatura se mantiene constante	

#### 4.2.2.10.3 Equipo

El detalle de equipos de transporte, pavimentadoras, rodillos; preparación del material bituminoso, entre otros, se encuentran en las ETG N° 1 "Pavimentos Bituminosos Tipo Mezcla en Planta" o en las ETG N° 1A "Pavimentos bituminosos tipo mezcla en planta diseñado por superpave", de acuerdo a lo indicado por IF.

#### 4.2.2.10.4 Procedimiento de Trabajo

De acuerdo a la elección de tipo de Pavimento Bituminoso por parte del IF, se tendrá en consideración que:

- *Para Pavimentos Bituminosos Tipo Mezcla en Planta:* Será responsabilidad del contratista determinar la proporción en que los materiales pétreos, filler y cemento asfáltico, determinados por el Método Marshall de diseño de mezcla asfáltica para tránsito pesado y de acuerdo a las siguientes exigencias, cumplan con las especificaciones
  - Estabilidad Marshall Mínimo 9.555 (N)
  - Fluencia (0.01") Mínimo 8, máx. 16
  - Huecos Totales en mezcla (%) Mínimo 3,0 máx. 4,0

En esta dosificación, se dejará una clara indicación de las temperaturas de calentamiento y viscosidad del asfalto que se haya proyectado, de los agregados al momento de mezclarlos, de la mezcla a la salida de la planta en terreno o en la planta y finalmente de la temperatura, de colocación y compactación de la mezcla. Se controlará diariamente la temperatura de almacenamiento del asfalto en los silos, que no podrá sobrepasar los 160º C, en cuyo caso, ese asfalto no podrá ser usado en los pavimentos del Aeropuerto. El contenido de asfalto será de un 5% mínimo en peso respecto a los agregados y tendrá una tolerancia de trabajo de + 0,3 %

- *Para Pavimentos bituminosos tipo mezcla en planta diseñado por superpave:* La fórmula de mezcla debe ser preparada por un laboratorio aprobado previamente por el IF.

El diseño de la mezcla debe realizarse de acuerdo a MS-2 Mix Design Manual, 7ma Edition, Asphalt Institute. Las probetas deben ser confeccionadas con 4 diferentes contenidos de ligante y compactadas con la Prensa Compactadora Giratoria (PCG) de acuerdo a ASTM D6925.



Los requisitos de diseño de la mezcla asfáltica deben ser especificados por el IF basándose en la información indicada en las tablas siguientes “Criterio de diseño PCG”, “Porcentaje mínimo de huecos en el agregado mineral” y “Granulometría de agregados para pavimentos bituminosos”

Tabla 4.5: Criterio de Diseño PCG

CARACTERÍSTICAS	Pavimentos diseñados para aeronaves con peso bruto de 60.000 lbs o más o presión de neumático mayor a 100 psi	Pavimentos diseñados para aeronaves con peso bruto inferior a 60.000 lbs o presión de neumático inferior a 100 psi
N° de Giros	75	50
Porcentaje de huecos de la mezcla	3.5	3.5
Porcentaje de huecos en el agregado mineral (mín)	Ver tabla 3.2	Ver tabla 3.2

Tabla 4.6: Porcentaje mínimo de huecos en el agregado mineral

Granulometría (Ver tabla 3.4)	Mínimo de huecos en el Agregado Mineral
Graduación 3	16%
Graduación 2	15%
Graduación 1	14%

Tabla 4.7: Granulometría de agregados para pavimentos bituminosos

Tamiz		Porcentaje en peso por tamices		
Tamaño		Graduación 1: 1" máx 25 mm	Graduación 2: 3/4" máx 19 mm	Graduación 3: 1/2" máx 13 mm
pulg	aprox			
1"	25 mm	100	---	---
3/4"	19 mm	76 – 98	100	---
1/2"	13 mm	66 – 86	79 – 99	100
3/8"	10 mm	57 – 77	68 – 86	79 - 99
N° 4	5 mm	40 – 60	48 – 68	58 - 78
N° 8	2 mm	26 – 46	33 - 53	39 - 59
N° 16	1 mm	17 – 37	20 – 40	26 - 46
N° 30	600 um	11 – 27	14 – 30	19 - 35
N° 50	300 um	7 – 19	9 – 21	12 - 24
N° 100	150 um	6 – 16	6 - 16	7 - 17
N° 200	75 um	3 - 6	3 – 6	3 - 6
Porcentaje en peso de bitumen de la mezcla (agregados+ ligante)		4.5 – 7.5	5.0 – 7.5	5.5 – 8.0

Tabla 4.8: Ensayes mezcla asfáltica

N°	Ensayo	Valor	Norma
1	TSR	Mín 75	ASTM D 4867
	Módulo de Rigidez, 15°C y 32° C	Min 4.000 MPa	UNE-EN 12697-26:2006
	Ahuellamiento inmerso a 50°C @20.000 pasadas, carga 700N	Informar	ASTM PS 129-01; Estado de Florida FM 5-565



#### 4.2.2.10.5 *Unidad de Medida y Pago*

Será por precio unitario de metro cúbico (m<sup>3</sup>) de Concreto Asfáltico, efectivamente colocado y compactado El costo unitario de las faenas del Ítem Pavimento Asfáltico, incluye todos los costos, como las maquinarias, herramientas, materiales, transporte, y otras, obra de mano, impuestos, IVA, leyes sociales etc., necesarios para la correcta y completa ejecución del Ítem.

#### 4.2.2.11 *Pavimento de hormigón*

##### 4.2.2.11.1 *Descripción y Alcances*

Este ítem consistirá en la construcción de losas de hormigón; la mezcla a usar deberá ceñirse en cuanto a calidad de los materiales, métodos constructivos y en todos los aspectos pertinentes a las *ETG N°16 "Pavimento de Hormigón Hidráulico"* y a las presentes E.T.E. en los aspectos específicos que se señalan.

Luego de la escarificación, nivelación y recompactación de la subrasante, del mejoramiento, según corresponda, y posteriormente la colocación de base chancada, se construirán las losas de hormigón cumpliendo espesor, tamaño, cotas y pendientes especificadas en el proyecto. Se deberá realizar el hormigonado con tren pavimentador en la totalidad de las losas a construir.

Es así como aprobada la nivelación y compactación de la base de acuerdo con el plan de inspección y ensayes, se procederá al hormigonado con hormigón de cemento hidráulico.

##### 4.2.2.11.2 *Materiales*

El agregado pétreo deberá tener un tamaño máximo de 2" y su granulometría deberá estar comprendida dentro de las bandas para agregado fino y agregado grueso indicadas en las *ETG N°16 "Pavimento de Hormigón Hidráulico"*.

La resistencia mínima a la Flexotracción del hormigón deberá ser de 45 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. El tránsito por las zonas repavimentadas, solo podrá autorizarse cuando se haya alcanzado a lo menos el 80% de la resistencia especificada, y lo autorice expresamente la I.F.

##### 4.2.2.11.3 *Equipo*

Para el transporte de la mezcla de hormigón, se considera un camión mixer, lo que permite transportar el material premezclado y en constante movimiento de manera segura.

Para la pavimentadora, existen varios tipos, tamaños, formas y accesorios, pero por lo general cuenta con una corrida de vibradores de inmersión móviles, ubicada previo a un sistema de rodillos aplanadores y alisadores de superficie.

Los moldajes pueden ser metálicos o de madera, pero deben poder soportar, sin sufrir grandes deformaciones, la maquinaria pesada encargada de la pavimentación.

Para el alisado y compactación de pavimentos de hormigón podrá considerarse una cercha vibradora. Esta cuenta con un pequeño motor para el vibrado de la superficie, pero no posee un sistema de traslado motorizado, por lo que requiere de personal capacitado que regule la velocidad, logrando una losa perfectamente lisa y compacta. Para su elección se debe tener en cuenta el ancho de la superficie a pavimentar y espesor de la capa de hormigón.

Adicionalmente se deben considerar todos aquellos accesorios como cortadora de pavimento para realizar las juntas de hormigón, vibrador de inmersión, cepillo texturizador, entre otros. Además de considerar elementos de construcción para aquellas zonas de menor dimensión.



#### 4.2.2.11.4 Procedimiento de Trabajo

La colocación, compactación, curado y todo lo necesario para la correcta ejecución de la construcción debe cumplir, en todo lo que no se contraponga con estas E.T.E., con las exigencias de las *ETG N° 16 "Pavimento de Hormigón Hidráulico"*, que se adjunta y lo indicado por la I.F.

La elaboración, colocación, curado y control de calidad del hormigón deberá ceñirse a lo estipulado en las E.T.G. antes citadas, en todos los aspectos que no se contrapongan con las presentes E.T.E. y los requerimientos realizados por el I.F. El contratista podrá usar cercha vibradora, cuyo método será previamente aprobado por la I.F.

La superficie terminada en fresco deberá peinarse con una arpillera o escobillón fino, para ofrecer una superficie con fricción conveniente, cuya terminación deberá quedar a plena conformidad de la I.F. Posteriormente se deberá aplicar una membrana de curado aprobada por la I.F.

Este ítem incluye el aserrado para inducir las grietas; sin embargo, no incluye el sellado de las juntas, actividad que se aborda en ítem posterior.

Cualquier grieta que se produzca después de hormigonadas las losas, provocada por efectos de la retracción y no excedan una profundidad de 100 mm, se limpiarán y serán inyectadas a presión con resina epóxica tipo IV, grado 1 utilizando los procedimientos recomendados por el fabricante; en caso contrario, si la grieta excede los 100mm de profundidad, deberán tratarse de acuerdo a lo indicado en el punto 4.18c y 4.18d de las *ETG N°16*.

En cuanto a las barras de traspaso de carga, se colocarán de acuerdo a la norma FAA AC 150/5320-6F. El método de colocación de barras de traspaso de cargas deberá asegurar que éstas queden perfectamente horizontales y paralelas al eje de pavimentación y con sus bordes aserrados. Este sistema deberá ser aprobado a través de un procedimiento de trabajo específico.

#### 4.2.2.11.5 Unidad de Medida y Pago

El pago del ítem se efectuará por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de construcción de losas de hormigón hidráulico, aprobadas por la I.F., debiendo incluirse en el precio unitario todas las actividades señaladas en este ítem, colocación de hormigón, colocación de barras, sellado de juntas, y toda otra actividad, equipos, materiales y mano de obra necesaria para completar el ítem.

#### 4.2.2.12 Sellado de juntas

##### 4.2.2.12.1 Descripción y Alcances

Se deberá cumplir con el tipo de juntas que resulten de la norma AC 150/5320-6F. Chapter 3, section 3, de la FAA de la US Department of Transportation.

El método constructivo, debe estar de acuerdo a lo indicado en las *ETG N°13 "Sellado de juntas"*.

##### 4.2.2.12.2 Materiales

El material de sello deberá cumplir los requisitos dados por la norma "Federal Specification SS-S-200E: Compuestos sellantes de dos componentes elastoméricos, tipo polímeros resistentes al combustible de los aviones Jet" en su última versión o ASTM D-3581 de aplicación en caliente y materiales elastoméricos, ambos aprobados previamente a través de una ficha de aprobación de material. También podrán ser propuestos sellos monocomponentes, siempre que cumplan con las normas ASTM correspondientes y tengan un uso probado en losas de aeropuertos.



#### 4.2.2.12.3 *Equipo*

Los compuestos sellantes aplicados en frío, deberán colocarse haciendo uso de equipos inyectoras a presión, que aseguren que el material llegue al fondo de la junta, llenándola completamente (hasta el respaldo) sin verter en la superficie del pavimento. Todo material sellante que no se adhiera a las paredes de las juntas, que contenga oquedades o que falle en sus propiedades ligantes, será rechazado y deberá ser reemplazado por el contratista.

#### 4.2.2.12.4 *Procedimiento de Trabajo*

Antes de comenzar la labor de sellado, el Contratista deberá demostrar que el equipo y procedimiento para preparar, mezclar y colocar sellante está en condiciones de asegurar un trabajo satisfactorio. Esto incluye que la junta se encuentre correctamente limpia y las caras estén secas cuando el sellante sea aplicado.

#### 4.2.2.12.5 *Unidad de Medida y Pago*

Esta partida se cuantificará dentro de la construcción del pavimento de hormigón. En caso de independizarla, o bien cuando los trabajos únicamente consideran sellado de juntas en pavimentos de hormigón existente, se considerará por metro (m) de sello de juntas perfectamente aplicado según estas especificaciones y los documentos del contrato.

### 4.2.3 **Conservación Rutinaria**

En general las conservaciones rutinarias se refieren a trabajos localizados del pavimento, en especial a partir de las inspecciones PCI, donde se detectan deterioros en forma puntual, que abarcan pequeñas dimensiones de asfalto o de las losas en hormigón pertenecientes a una Unidad de Muestra claramente identificada. Por ello los trabajos; en general, requieren de maquinaria menor, ya que las reparaciones son de dimensiones menores.

#### 4.2.3.1 *Bacheo profundo en asfalto*

##### 4.2.3.1.1 *Descripción y Alcances*

La operación se refiere al reemplazo de una parte severamente deteriorada de la estructura de un pavimento asfáltico, cuando el daño afecte tanto a la(s) capa(s) asfáltica(s) como, a lo menos, parte de la base y sub-base. El procedimiento se aplica para reparar áreas que presenten fallas estructurales originadas por agrietamientos de las diversas capas asfálticas y/o por debilitamiento de la base, sub-base y/o subrasante.

##### 4.2.3.1.2 *Materiales*

###### 4.2.3.1.2.1 Bases y sub-bases

Se requiere que las sub-bases y bases existentes por remover, se reemplacen por materiales que cumplan de acuerdo a las *ETG N°12 "Capa de Base Material Chancado"*.

###### 4.2.3.1.2.2 Ligantes

Se requiere que, para el riego de imprimación, se usen materiales que cumplan con lo estipulado en las *ETG N° 8 "Imprimación Bituminosa"*.

###### 4.2.3.1.2.3 Mezclas asfálticas.

En la reparación de pavimentos de concreto asfáltico, se solicita utilizar lo especificado en las *ETG N° 1 "Pavimentos Bituminosos Tipo Mezcla en Planta"* que se adjunta.



#### 4.2.3.1.3 Equipo

Se utilizará maquinaria de tipo rompepavimento hidráulico, cargador para acopio y camión tolva 6m<sup>3</sup> para el traslado a botadero.

Para la faena de asfaltado se consideran los equipos según especificación de Pavimento Asfáltico antes incluido, entre ellas pavimentadora, rodillos u otros.

#### 4.2.3.1.4 Procedimiento de Trabajo

##### 4.2.3.1.4.1 Remoción del área deteriorada

- Delimitar el área por remover, demarcándola con pintura, de forma rectangular o cuadrada, comprendiendo toda la zona deteriorada que presente fallas o bache.
- Cortar la capa asfáltica de manera que las paredes queden verticales, utilizando de preferencia sierras, pero también pueden emplearse taladros.
- Cuando se reparen baches, la remoción debe alcanzar como mínimo hasta el punto más profundo de éstos, y continuar si a ese nivel el material no se encuentra firme.
- Al programar la profundidad de la remoción, se deberá considerar la estructura de pavimento proyectado, excavando las capas granulares y, hasta la subrasante que sea requerida.

##### 4.2.3.1.4.2 Reemplazo de bases y sub-bases

- Antes de iniciar la colocación de los materiales de reemplazo se debe revisar fondo y paredes de la excavación, para verificar que no existen o hayan existido escurrimientos de aguas. Si ello así ocurre, es conveniente asegurar que los escurrimientos sean evacuados en el futuro.
- La metodología de colocación de bases y sub-bases será la indicada en las *ETG N°12 "Capa de Base Material Chancado"* y para las sub-base, en caso de ser requerido según proyecto, será la indicada en las *ETG N°11 "Capa de Sub Base Granular"*

##### 4.2.3.1.4.3 Relleno con mezclas asfálticas

- Imprimir el fondo de la zona en que se hace la remoción, utilizando ligante, de acuerdo a las *ETG N° 8 "Imprimación Bituminosa"*. Recubrir la superficie con el ligante, mediante una escobilla u otro elemento similar que permita un cubrimiento uniforme.
- Limpiar las paredes eliminando todas las partículas sueltas y luego, de preferencia mediante soplado para eliminar el polvo.
- Antes de colocar la mezcla asfáltica de relleno, verificar que la emulsión de la imprimación haya penetrado según lo especificado.
- Extender la mezcla con rastrillos, restituyendo las pendientes originales y colocando la cantidad adecuada para que sobresalga unos 6 mm sobre el pavimento circundante.
- Realizar la compactación con un rodillo neumático o liso de 3 a 5 tn de peso.
- Alternativamente puede usarse un rodillo manual, dependiendo del espesor de la capa por compactar. El desnivel máximo tolerable entre la zona reparada y el pavimento que la rodea es de 3 mm.

##### 4.2.3.1.4.4 Criterio de control

El contratista dispondrá de programa de control de calidad de acuerdo con la sección 100 de las disposiciones generales del documento AC 150/5370-10 (Anexo 2). En este programa se tratarán todos los elementos que afecten la calidad del pavimento, como por ejemplo:

- Diseño de la mezcla
- Granulometría del agregado



- Calidad de los materiales
- Gestión de acopios
- Proporciones Mezclado y transporte
- Extendido y acabado
- Junturas
- Compactación
- Regularidad superficial
- Personal
- Plan de colocación de la mezcla
- Los ensayos para el control de calidad, estarán de acuerdo a lo dispuesto en el ítem 6.3 de las ETG N°1.

#### 4.2.3.1.5 *Unidad de Medida y Pago*

Se cuantificará por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de bacheo correctamente ejecutado, de cualquier espesor o composición. Incluye demolición, remoción y transporte a botadero autorizado, mezcla asfáltica en caliente y capas de material granular correctamente compactados y ejecutados; incluyendo el transporte de estos a la zona en faena.

#### 4.2.3.2 *Bacheo a profundidad parcial en asfalto*

##### 4.2.3.2.1 *Descripción y Alcances*

La operación comprende la reparación de baches y el reemplazo de áreas del pavimento que se encuentren deterioradas, siempre que afecten exclusivamente a la capa de rodadura asfáltica, encontrándose en buenas condiciones la base granular y demás capas de suelos.

##### 4.2.3.2.2 *Materiales*

- Para Imprimir la superficie asfáltica existente, considerar lo indicado en ETG N° 7 “Riego de liga”.
- Para el material asfáltico considerar lo indicado en las ETG N° 1 “Pavimentos Bituminosos Tipo Mezcla en Planta”.

##### 4.2.3.2.3 *Equipo*

Se utilizará maquinaria de tipo Taladro KANGO para la demolición del pavimento, cargador con capacidad de cuchara de hasta 4.4 m<sup>3</sup> y potencia neta de hasta 150 kW para acopio y camión tolva 6m<sup>3</sup> para el traslado a botadero.

Considerando bacheos de poco espesor y área se podrá considerar asfaltado mediante métodos manuales, rodillos u otro equipo necesario para esta faena.

##### 4.2.3.2.4 *Procedimiento de Trabajo*

Se recomienda para este fin considerar bacheo manual; entendiéndose que se trata de bacheos de área y profundidad reducida. Este consiste en una remoción puntual de la zona deteriorada, la limpieza de las paredes resultantes para posteriormente colocar un imprimante o un riego de liga, según corresponda, para finalizar con la colocación de una mezcla asfáltica.

##### 4.2.3.2.4.1 *Remoción del área deteriorada*

- Primero se debe delimitar el área por remover, demarcándola con pintura, de forma rectangular o cuadrada, comprendiendo toda la zona deteriorada que presente fallas o un bache.
- La capa asfáltica se corta de manera que las paredes queden verticales. Para ello se usa una cortadora de pavimento para alcanzar la profundidad de corte necesaria.



- La remoción se realiza hasta una profundidad en que el pavimento asfáltico no presente signos de agrietamientos o fisuras y, en el caso de baches, alcancen como mínimo hasta el punto más profundo de él.
- Tener especial cuidado de no dañar la base granular existente bajo las capas asfálticas.

#### 4.2.3.2.4.2 Relleno

- Las paredes y el fondo de la zona en que se hace la remoción, se deben limpiar mediante un barrido enérgico que elimine todas las partículas sueltas (de preferencia mediante soplado) y retire el polvo.
- Las paredes deben quedar firmes y perfectamente limpias.
- La superficie se debe recubrir con ligante (riego de liga o imprimación según corresponda), para lo cual se utilizan escobillones u otros elementos similares que permitan esparcirlo uniformemente.
- Antes de colocar la mezcla asfáltica de relleno, verificar que la emulsión de la liga haya quebrado, o que la imprimación haya penetrado según lo especificado.
- Extender la mezcla con rastrillos, colocando la cantidad adecuada para que sobresalga unos 6 mm sobre el pavimento circundante y en los extremos coincida con las líneas de corte de la zona.
- La mezcla se dejará con paredes verticales y se debe retirar cualquier exceso.
- Realizar la compactación con un rodillo neumático o liso de 3 a 5 tn de peso o alternativamente se use un rodillo manual, dependiendo del espesor de la capa por compactar.
- Alternativamente puede usarse un rodillo manual, dependiendo del espesor de la capa por compactar. El desnivel máximo tolerable entre la zona reparada y el pavimento que la rodea es de 3 mm.

#### 4.2.3.2.5 Unidad de Medida y Pago

Se cuantificará por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de bacheo correctamente ejecutado, de cualquier espesor o composición. Incluye demolición, transporte a botadero autorizado, mezcla asfáltica completa y correctamente ejecutada y transporte del material a la faena.

#### 4.2.3.3 Bacheo profundo en hormigón y reemplazo de losa

##### 4.2.3.3.1 Descripción y Alcances

La operación tiene por objetivo reemplazar parcial o totalmente una losa deteriorada de hormigón, cuando el daño afecte tanto a la capa de hormigón como, a lo menos, parte de la base y sub-base. El procedimiento se aplica para reparar áreas que presenten fallas originadas por agrietamientos de la capa de hormigón y/o por debilitamiento de la base, sub-base y/o subrasante.

##### 4.2.3.3.2 Materiales

Se requiere que los hormigones y demás materiales se ajusten en todos sus términos a lo estipulado en las ETG N°16 "Pavimento de Hormigón Hidráulico", en las ETG N°12 "Capa de Base Material Chancado" y en caso de ser requerido, en las ETG N°11 "Capa de Sub Base Granular".

##### 4.2.3.3.3 Equipo

Se utilizará maquinaria de tipo rompepavimento hidráulico, cargador con capacidad de cuchara de hasta 4.4 m<sup>3</sup> y potencia neta de hasta 150 kW para acopio y camión tolva 6m<sup>3</sup> para el traslado a botadero.

Para la aplicación del material de hormigón regirá lo indicado en ítem Pavimento de Hormigón, de este documento dependiendo del tamaño del bacheo. De tener dimensiones que se haga imposible la inclusión de pavimentadora u otros, podrá hacerse en forma manual, obteniendo en todo momento las resistencias, geometría, compactación u otra característica de un pavimento de mayor tamaño.



#### 4.2.3.3.4 Procedimiento de Trabajo

##### 4.2.3.3.4.1 Remoción del pavimento

- La zona se debe aislar completamente del pavimento adyacente; así se minimizan los daños durante la operación de remoción.
- Cuadrar el área que va a ser reparada teniendo especial cuidado en tratar de formar solo ángulos rectos, incluyendo cualquier daño adyacente, "cortar por lo sano". Para prevenir que el parche quede suelto se recomienda que la dimensión mínima sea  $>$  a 1.800 mm. La dimensión mínima también es función de si se usarán artefactos para la transferencia de carga, tales como barras de amarre o de transferencia de carga.
- Aserrar el área demarcada, para lo cual se usará una cortadora de pavimentos para lograr alcanzar una mayor profundidad de corte, excepto cuando uno de los lados es una junta. Se puede aserrar en toda la profundidad de la losa. La rotura del hormigón debe comenzar desde el centro parche mediante combo o martillos neumáticos o hidráulicos.
- Remover el hormigón demolido y preparar la fundación hasta alcanzar una superficie homogénea y libre de humedad. Generalmente la parte superior de las subbases granulares se sueltan en el proceso de demolición y es difícil compactar pequeños espesores, se recomienda el reemplazo de la parte suelta por hormigón (aumentando el espesor de la losa).

##### 4.2.3.3.4.2 Preparación antes de hormigonar

- En caso de que el bacheo cuente con barras de acero de transferencia de carga, considerar:
  - Enderezar o realinear las barras de amarre o de traspaso de carga existentes o instalar nuevas barras iguales a las existentes previo pintado con un compuesto tipo SIKADUR 52, mediante la perforación de agujeros del diámetro adecuado en la cara de la losa existente en vainas de PVC hidráulico de diámetro superior al de las barras de acero.
  - Preparar la superficie de capa granular, verificando compactación y nivel de subrasante.
  - Instalar moldes laterales rectos en las caras de las juntas de losas colindantes. Los moldes tendrán una profundidad igual al espesor del pavimento en el borde.
- En caso de que el bacheo no cuente con barras de acero de transferencia de carga, considerar:
  - Preparar la superficie de capa granular, verificando compactación y nivel de subrasante.
  - Instalar moldes laterales rectos en las caras de las juntas de losas colindantes. Los moldes tendrán una profundidad igual al espesor del pavimento en el borde.

##### 4.2.3.3.4.3 Hormigonado

- Se usará el mismo tipo de hormigón especificado en las *ETG N°16 "Pavimento de Hormigón Hidráulico"*.
- El hormigonado se realizará contra las caras de las losas no removidas, por lo que previamente se asegurará que se encuentran limpias de polvo u otra suciedad, para posterior aplicar SIKADUR 32 para la adherencia entre elemento existente y nuevo.
- Para obtener un parche de buena calidad es crítica la colocación y terminación que se le dé al hormigón, incluyendo el vibrado.
- La nivelación se verificará mediante una regla de una longitud igual a la de la zona reemplazada más 1 m. La experiencia indica que los mejores resultados se logran colocando la cercha vibradora.
- Dar la textura final a la superficie.
- El sello de juntas; de ser necesario, se realizará de acuerdo a lo indicado en las *"ETG N°13 "Sellado y Resellado de Juntas"*.

##### 4.2.3.3.5 Unidad de Medida y Pago

Se cuantificará por metro cúbico ( $m^3$ ) de bacheo correctamente ejecutado, de cualquier espesor o composición. Incluye demolición, remoción y transporte a botadero autorizado; material de hormigonado y capas de material granular correctamente compactadas y ejecutadas, incluyendo el transporte de estas a la zona de faena.



#### 4.2.3.4 Bacheo a profundidad parcial en hormigón

##### 4.2.3.4.1 *Descripción y Alcances*

El bacheo a profundidad parcial consiste en la remoción parcial de poco espesor de áreas localizadas deterioradas o desconchadas del pavimento de hormigón y su reemplazo por materiales adecuados tales como morteros de cemento o epóxicos.

Esta técnica se utiliza para reparar deterioros en pavimentos de hormigón que están confinados en la superficie de la losa en unos pocos centímetros, tales como desconches de juntas o de esquinas.

##### 4.2.3.4.2 *Materiales*

Para el procedimiento de bacheo parcial, es necesario aplicar como mínimo los siguientes materiales: Adhesivo epóxico SIKADUR 32, Morteros epóxicos o resinas epóxicas del tipo SIKAREP AR o equivalentes técnicos.

##### 4.2.3.4.3 *Equipo*

Para remover el área deteriorada se utilizará entre otros, una cortadora de disco diamantado, martillos neumáticos o eléctricos. Para la aplicación de él o los adhesivos, se utilizará brocha.

##### 4.2.3.4.4 *Procedimiento de Trabajo*

- Se procederá a cuadrar el área a ser reemplazada incluyendo el área deteriorada más un margen de 10 cm. Ejecutar un corte vertical con disco diamantado de una profundidad mínima de 5 cm alrededor de la zona marcada, asegurarse que los cortes se intercepten para obtener un parche cuadrado o rectangular con caras verticales.
- Después del corte se procederá a romper el hormigón con martillos neumáticos o eléctricos hasta llegar al concreto sano, se retira todo el hormigón suelto y se sopletea con aire comprimido para remover todo el polvo y demás restos.
- Se evitará dañar la base y las losas adyacentes.
- Con una brocha aplicar el puente de adherencia (tipo SIKADUR 32), de acuerdo con las instrucciones del fabricante en toda el área del parche incluyendo las paredes verticales, antes de colocar el material de relleno (morteros epóxicos o resinas epóxicas del tipo SIKAREP AR.). Si el material a colocar no necesita el puente de adherencia, con una brocha se procederá a humedecer la superficie, cuidando de no dejar agua libre.
- En caso de que lo requiera por ubicación de junta existente, se dejará un inserto de fibra o metal engrasado para formar la junta, este inserto se puede dejar sobresaliente 2 cm. sobre la losa para facilitar su retiro posteriormente.
- Se procede a colocar el material de relleno, pudiendo ser este mortero o resina epóxica. No dejar caer la mezcla desde una altura mayor a 30 cm. Como terminación se le dará un escobillado similar al adyacente. Después que la mezcla haya adquirido su resistencia inicial se retira el inserto con que se formó la junta.
- Se dará un curado mínimo de tres días al parche, o lo que indique el fabricante.
- Cubrir con membrana de curado el área reparada. Finalmente rectificar la junta, limpiarla y rellenarla con un material apropiado.

##### 4.2.3.4.5 *Unidad de Medida y Pago*

Se cuantificará por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de bacheo correctamente ejecutado, de cualquier espesor o composición. Incluye demolición, transporte a botadero autorizado, hormigonado completa y correctamente ejecutado, incluyendo sellado de juntas y transporte de todos los materiales a la faena.



#### 4.2.3.5 Sello protector de pavimento asfáltico

##### 4.2.3.5.1 *Descripción y Alcances*

Este ítem corresponde a la aplicación de sellos protectores bituminosos premezclados sobre pavimentos asfálticos antiguos o nuevos, que no presenten fallas estructurales, deformaciones, exudación, baches o grietas sin reparar.

##### 4.2.3.5.2 *Materiales*

Los materiales para este ítem, se encuentran en el punto número 2 de las ETG N°46 “Aplicación de Sello Protector de Pavimentos Asfálticos”.

##### 4.2.3.5.3 *Equipo*

El sello puede ser aplicado de manera manual, considera escobillones distribuidores o rastrillos de goma, o de forma mecánica, que considera equipos de dispersión adecuadas para el proceso, siendo estas, autopropulsadas o de remolque.

##### 4.2.3.5.4 *Procedimiento de Trabajo*

Para el procedimiento de trabajo, se tiene el ítem número 4 de las ETG N°46 “Aplicación de Sello Protector de Pavimentos Asfálticos”.

##### 4.2.3.5.5 *Unidad de Medida y Pago*

La unidad de medida y pago será el metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de sello protector de pavimento asfáltico aplicado, de acuerdo a las dimensiones de largo y ancho requerido por el proyecto y, aprobado por el I.F.

#### 4.2.3.6 Sellado grietas

##### 4.2.3.6.1 *Descripción y Alcances*

El sello de grietas es un proceso que consiste en la limpieza y sellado o resellado de grietas en pavimentos asfálticos y de hormigón.

Esta técnica se utiliza para rellenar tanto las grietas longitudinales como las transversales, se incluyen las grietas por reflexión en un recapado de asfalto sobre hormigón provenientes de las losas de hormigón subyacente, de ancho mayor a 3 mm. El principal propósito del sello de grietas es prevenir la infiltración de agua en la fundación del pavimento.

##### 4.2.3.6.2 *Materiales*

###### 4.2.3.6.2.1 *Sellantes*

Para el sellado se utilizará sellante asfáltico elastomérico, de aplicación en caliente; el que deberá cumplir los requerimientos de las Normas ASTM-D 3405 ó ASTM-D 1190

###### 4.2.3.6.2.2 *Material de respaldo*

El objetivo del material de respaldo en pavimentos asfálticos es para mantener la profundidad de la cavidad que recibe el sellante a una profundidad aproximada de 20 mm. Este material de respaldo no será necesario para aquellas grietas con una cavidad menor a 20 mm. El material de respaldo será compresible, que no se encoja, no sea absorbente y no debe ser reactivo con el sellante de las grietas.



#### 4.2.3.6.3 *Equipo*

##### 4.2.3.6.3.1 Equipos de limpieza de las grietas

- Equipo de acanalado (Router)
- Sierra para hormigón. Cortadora de Pavimentos
- Cortadora de pavimentos autopropulsada, prevista de una sierra diamantada
- Herramientas manuales para remover sellos defectuosos o para reparar las paredes de las mismas.

##### 4.2.3.6.3.2 Equipo sellador de grietas

El equipo a utilizar para calentar y colocar el material de sellado deberá ser móvil y estar equipado con una caldera de doble fondo, que permita la aplicación de calor en forma indirecta, con baño de aceite y con un sistema de agitación automático; del material sellante, también deberá tener un sistema de colocación presurizado con una boquilla especial, sistemas de control de temperatura del sellante y el aceite.

##### 4.2.3.6.4 *Procedimiento de Trabajo*

- Remover los sellos antiguos y formar la caja para recibir el sellante. Usar una ruteadora o herramientas manuales.
  - a) Remover el material suelto a lo largo de los bordes.
  - b) La profundidad de la caja para recibir el sello deberá ser a lo menos el ancho de la grieta más 6 mm.
- Después de acanalado, limpiar la grieta con aire comprimido, aspirar o barrer los restos.
- Aplicar el sellante. No rellenar en demasía la grieta; dejar una huelga de 3mm desde el borde del pavimento.

##### 4.2.3.6.5 *Unidad de Medida y Pago*

La unidad de medida y pago será el metro metro (m) de sello de grietas perfectamente aplicado según estas especificaciones y los documentos del contrato.

#### 4.2.3.7 Cepillado

##### 4.2.3.7.1 *Descripción y Alcances*

Esta operación se refiere al cepillado superficial del pavimento de hormigón con el objetivo de reducir las irregularidades, lo que mejora la serviciabilidad. El procedimiento elimina sustancialmente las irregularidades creadas por el escalonamiento de juntas, las deformaciones originadas por los gradientes térmicos, y/o durante la construcción, así como también aumenta la fricción entre neumáticos y pavimento y/o para restaurar un adecuado drenaje y las características del rodado a las superficies del pavimento.

##### 4.2.3.7.2 *Materiales*

Las obras a las que se refiere esta unidad requieren de agua, que será proporcionada a través de camión aljibe.

##### 4.2.3.7.3 *Equipo*

Para este ítem, se requiere de una cepilladora de pavimento de hormigón, una barredora que elimine los residuos.

El equipo de cepillado consistirá en una máquina auto impulsada con un motor de potencia, especialmente diseñada para suavizar la textura del hormigón mediante un cabezal de corte constituido por una serie de discos diamantados paralelos entre sí. La distancia entre ejes de apoyo del equipo no debe ser inferior al largo de las losas, debiendo disponer de un eje tándem direccional al frente y de ruedas traseras adecuadas para circular sobre la superficie recién cepillada. El cabezal de corte no debe estar a más de 0,90 m por delante del centro de las ruedas traseras.



#### 4.2.3.7.4 *Procedimiento de Trabajo*

El cepillado es una partida que se debe ejecutar una vez finalizadas todas las actividades de rehabilitación del pavimento, a excepción el sello de grietas y juntas que se debe realizar con posterioridad.

El cepillado debe ejecutarse de manera que las superficies adyacentes a una junta queden al mismo nivel de rasante, de modo tal que no queden protuberancias. El objetivo del trabajo es eliminar todos los escalonamientos existentes en juntas.

El sentido de inicio-término del cepillado debe ser determinado por el contratista y no tendrá influencia en la lisura del perfil resultante. Tampoco afecta a la calidad de la textura o de las juntas.

En los sectores de luminarias, balizas o en general elementos eléctricos, y a su vez, rejillas o ductos hidráulicos, se requerirá que se realice el cepillado hasta 20 cm antes y 20 cm después, para evitar deterioros o daños graves a los elementos. Cualquier daño adicional en estos sectores, se considerará la reposición por parte, y a cuenta, del Contratista.

#### 4.2.3.7.5 *Unidad de Medida y Pago*

Esta partida se cuantificará por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de pavimento de hormigón que requiera de cepillado.

#### 4.2.3.8 *Remoción de caucho*

##### 4.2.3.8.1 *Descripción y Alcances*

Este ítem consiste en la remoción de caucho acumulado en la superficie de rodado en pista, con la finalidad de recuperar su condición de fricción inicial. La aplicación del método de limpieza, será efectuada en forma transversal al eje longitudinal de la pista, asimismo, el contratista deberá procurar que se mantengan las pendientes de escurrimiento de aguas de la pista.

Cualquier daño a las instalaciones eléctricas o de otro tipo, deberá reponerse con cargo al contratista

##### 4.2.3.8.2 *Materiales*

Las obras a las que se refiere esta unidad de obra no requieren el uso de materiales.

##### 4.2.3.8.3 *Equipo*

El equipo utilizado deberá ser una maquina cepilladora. El material de caucho que no haya sido extraído por el sistema de succión del equipo, se deberá sacar mediante el lavado con agua mediante algún método mecanizado. O en su defecto, todo el trabajo podrá desarrollarse por un método de chorro de agua, utilizando maquinaria del tipo Stripe Hog SK200 o similar, que cumpla con las especificaciones.

#### 4.2.3.8.4 *Procedimiento de Trabajo*

##### 4.2.3.8.4.1 *Método mecanizado de microtexturado superficial*

Se realizará con máquina cepilladora que deberá contar con cabezal de corte con discos diamantados suspendidos y alineados con la unidad, sistema de vacío con bomba para la succión del desecho (slurry, rubber, etc), altura ajustable a las alturas pre-establecidas para lograr una profundidad de cepillado precisa y constante, control de profundidad mediante ruedas alineadas con el cabeza de cepillado para permitir uncepillado o microtexturado con profundidades uniformes, independientes de las variaciones en la superficie.

La zona de trabajo se mantendrá limpia de residuos y desechos provenientes de la operación de remoción del caucho. Las operaciones de limpieza serán continuas.



#### 4.2.3.8.4.2 Método de chorro de agua

También se considera la remoción del caucho por el método de chorro de agua con presión ultra alta de hasta 40.000psi. Para tal fin, el sistema deberá utilizar solo agua potable, sin la necesidad de uso de químicos, detergentes o ningún otro tipo de aditivo ajeno.

El sistema de chorro de agua deberá remover el caucho con producciones mayores a los 1.000m<sup>2</sup> por hora y con un dispositivo de remoción con un ancho de paso no menor a los 50cm e idealmente con un ancho de paso mayor a los 90cm. Finalmente, el sistema de chorro de agua deberá proveer aspiración simultánea que recupere el 95%, o más, del agua usada y la totalidad del material removido.

#### 4.2.3.8.5 Unidad de Medida y Pago

La remoción del caucho se medirá y pagará por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de pavimento efectivamente limpio.