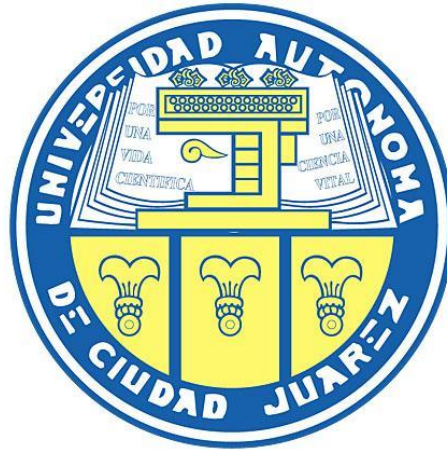


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y MANUFACTURA



**INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN
MANUFACTURA**

PROYECTO:

“Desarrollo de una guía de identificación/solución de fallas en los pavimentos del
Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez”

QUE PRESENTA

Gabriela Alvarez Vega

ASESOR: Doc. Javier Molina

Co-ASESOR: M.I Bárbara Alexandra Anaya Sánchez

Co-ASESOR: Dra. S. Vianey Arguelles

TIPO DE INVESTIGACIÓN: De ciencia aplicada

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Aeropuertos

CD. JUÁREZ, CHIH.

NOVIEMBRE 2021

CARTA DE ACEPTACION Y PRESENTACION

AGRADECIMIENTOS

A través de estas líneas quiero expresar mi más sincero agradecimiento primeramente a Dios, quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, en el que está en todo momento ayudándome a aprender de mis errores pues es El quien guía el destino de mi vida.

Agradezco a mi familia por su apoyo de superarme día con día y la ayuda siempre, por las alegrías y dificultades en esta etapa. Por ser de ejemplo y soporte en todos los proyectos emprendidos.

Muy especialmente a mis asesoras la Maestra Barbara Alexandra Anaya Sanches y la Doctora Vianey S. Arguelles, por la orientada orientación, soporte y opinión critica que me permitió el aprovechamiento en el proyecto realizado, por el apoyo científico y humano.

A las instituciones que hicieron posible la realización del trabajo presentado en este proyecto por la ayuda económica brindada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez por permitir la entrada a sus instalaciones y por apoyo de todo el personal, especialmente al Ing. Julio Villanueva por su apoyo procesional y humanitario para la realización del proyecto.

Agradezco a Oscar I. por su comprensión y apoyo, por darme motivación y aliento cuando era difícil.

¡Pero gracias a Dios, que nos da la victoria por medio de nuestro Señor Jesucristo!

1 Corintios 15:57

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	III
INDICE DE FIGURAS	VI
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	XVI
GLOSARIO DE ACRÓNIMOS.....	XIX
RESUMEN	XXI
ABSTRACT	XXII
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	23
1.1 Antecedentes	24
1.2 Descripción del problema.....	28
1.3 Objetivo del proyecto.....	30
1.3.1 Objetivos específicos.....	31
1.4 Hipótesis	31
1.5 Pregunta de investigación	31
1.6 Justificación.....	32
1.7 Alcance y delimitación.....	33
CAPÍTULO 2 LITERATURA REVISADA	34
2.1. Aviación	34
2.2. Infraestructura aeroportuaria y sus características	40
2.2.1 Servicios de las aeronaves en tierra.....	61
2.3. Pavimentos	62
2.3.1. Pavimentos flexibles.....	65
2.3.2. Pavimentos rígidos	67
2.3.3. Características del pavimento (ACN/PCN).....	69
2.4. Tipos de fallas (Condiciones que presenta el pavimento que no cumplen el propósito para el que fue diseñado).....	75

2.5.	Normativa.....	96
2.5.1.	Normativa internacional	96
2.5.2.	Normativa nacional	98
2.5.3.	Normativa para pavimientos	100
2.6.	Estrategias de conservación y reparación.....	102
2.6.1.	Materiales y equipo.....	103
2.6.2.	Reparación de fallas específicas	106
3.	METODOLOGÍA	114
3.1.	Fase I. Investigación documental y de campo	114
3.1.1.	Descripción del problema	116
3.1.2.	Antecedentes del aeropuerto.....	117
3.1.3.	Normativa y reglamentos.....	117
3.1.4.	Condiciones actuales del Aeropuerto CJS	118
3.1.4.1.	Identificación de fallas actuales.....	118
3.1.4.2.	Cuestionario al personal.....	119
3.1.4.3.	Método ASTM 5340.....	121
3.1.5.	Análisis de mantenimiento actual	131
3.1.6.	Datos de ACN y PCN	132
3.2.	Fase II. Desarrollo de la guía de inspección	132
3.2.1.	Análisis de diseño.....	133
3.2.2.	Diseño de la guía de inspección.....	135
4.	. RESULTADOS	136
4.1.	Condiciones actuales del Aeropuerto CJS.....	136
4.1.1.	Identificación de fallas	136
4.1.2.	Resultados de la aplicación del cuestionario.	148
4.1.3.	Método ASTM 5340.....	152
4.1.4.	Análisis de mantenimiento actual	158
4.2.	Análisis de diseño	160
4.3.	Costo de reparación.....	161
4.4.	Diseño de la guía de inspección	163
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	175
5.1.	CONCLUSIONES.....	175

5.2. LISTADO DE RECOMENDACIONES	177
5.3. ANÁLISIS DE VENTAJAS A CORTO Y MEDIANO PLAZO	177
6. BIBLIOGRAFÍA.....	179
7. ANEXOS Y APÉNDICE	182
APÉNDICE a . Manual de inspección	183

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Número total de vuelos seguidos por Flightradar24, por día (hora UTC), 2019 vs 2020 vs 2021 (obtenida de https://www.flightradar24.com/data/statistics/8/30/21).....	25
Figura 1.2 Pozos de agua en el manto asfáltico [4].....	27
Figura 1.3. Reconstrucción calle de rodaje B, (autoría propia).	29
Figura 2.1. Evolución de aeropuertos. (Autoría propia recopilada de [5]).	36
Figura 2.2 Dibujo escalado y ubicación de pistas. [4].....	38
Figura 2.3 Panorámica de Ciudad Juárez. En primer término, el hipódromo, al lado del cual se hizo el primer campo de aviación [7].	39
Figura 2.4. Panorámica del primer Aeropuerto de Ciudad Juárez [7].....	39
Figura 2.5 Concepto lineal y sus variaciones [10].	44
Figura 2.6 Dimensiones para determinar el tamaño del puesto de estacionamiento de aeronaves [10].....	45
Figura 2.7 Elementos de una pista. (Nota. Recuperado de [1]).....	48
Figura 2.8 Dimensiones generales de la aeronave (Parte 1, A321-Neo)[16].	50
Figura 2.9. Dimensiones generales de la aeronave (Parte 2, A321-Neo)[16].	50
Figura 2.10 Dimensiones generales de la aeronave (Parte 3, A321-Neo)[16].	51
Figura 2.11 Radios de giro, sin ángulo de desplazamiento (A321) [16].	52
Figura 2.12 Mínimo radio de giro (A321) [16].	54
Figura 2.13 Dimensiones generales de la aeronave (Parte 1) [17].	56
Figura 2.14. Dimensiones generales de la aeronave (Parte 2) [17].	56
Figura 2.15. Dimensiones generales de la aeronave (Parte 3) [17].	57
Figura 2.16 . Radios de giro, sin ángulo de desplazamiento (E190) [17].	58
Figura 2.17 Radios de giro, sin ángulo de desplazamiento (E190) [17].	60

Figura 2.18 Modelo de la disposición del equipo de servicio de tierra [10].	62
Figura 2.19 Estructura de pavimento flexible (Recuperado de [13]).	65
Figura 2.20. ACN para los efectos de la aeronave sobre el pavimento. (Autoría propia, recuperado [21]).	69
Figura 2.21 Croquis de reparación de fisuras para pavimentos flexibles. (Recuperado de [25]).	107
Figura 3.1. Metodología del proyecto	114
Figura 3.2. Metodología Fase I (Autoría propia)	116
Figura 3.3 Línea del tiempo del Aeropuerto CJS (Autoría propia).	117
Figura 3.4. Índice de condición del pavimento (PCI) y escala de clasificación (Recuperado de [23]).	121
Figura 3.5. Fase II (Autoría propia).	133
Figura 3.6. Función del producto con base en el grado de satisfacción (Recuperado de https://economipedia.com/definiciones/modelo-de-kano.html).	134
Figura 3.7. Planos del Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez. (Recuperado del Aeropuerto).	135
Figura 4.1. Resultado pregunta 1 (Autoría propia).	148
Figura 4.2. Resultado pregunta 2 (Autoría propia).	148
Figura 4.3. Resultado pregunta 3 (Autoría propia).	149
Figura 4.4. Resultado pregunta 4 (Autoría propia).	149
Figura 4.5. Resultado pregunta 5 (Autoría propia).	149
Figura 4.6. Resultado pregunta 6 (Autoría propia).	150
Figura 4.7. Resultado pregunta 7 (Autoría propia).	150
Figura 4.8. Resultado pregunta 8 (Autoría propia).	151
Figura 4.9. Resultado pregunta 9 (Autoría propia).	151

Figura 4.10. Resultado pregunta 10 (Autoría propia).	152
Figura 4.11 Abaco para hallar los Valores Deducidos Corregidos de los pavimentos rígidos (Recuperado de [28]).....	154
Figura 4.12 Abaco para hallar los Valores Deducidos Corregidos de los pavimentos flexibles (Recuperado de [28]).....	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clave de referencia de aeródromo [8].	41
Tabla 2.2. Radios de giro, sin ángulo de desplazamiento (A321)(Autoría propia recuperado de [16]).	53
Tabla 2.3. Mínimo radio de giro (A321) (Autoría propia recuperado de [16]).	55
Tabla 2.4. Radios de giro, sin ángulo de desplazamiento (E190) (Autoría propia, recuperado de [17]).	59
Tabla 2.5. Distancias libres (Autoría propia, recuperado de [1]).....	61
Tabla 2.6. Simbología de ACN/PCN (Autoría propia, recuperado de [22]).....	70
Tabla 2.7. Valores típicos de la resistencia del terreno de cimentación en pavimentos rígidos y flexibles para el método ACN/PCN (Autoría propia, recuperado de [22]).	70
Tabla 2.8 Presión de inflado(Autoría propia, recuperado de [22]).	71
Tabla 2.9 Valor de PCN (Autoría propia, recuperado de [22]).....	73
Tabla 2.10 Valor ACN (Autoría propia, recuperado de [22]).....	74
Tabla 2.11. Clasificación de fallas en pavimentos flexibles (Autoría propia).	75
Tabla 2.12 Clasificación de pavimentos rígidos (Autoría propia).....	76
Tabla 2.13 Características de la piel de cocodrilo en pavimento flexible (Según la Norma ASTM D 5340)	77
Tabla 2.14 Características de exudación en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340).....	77
Tabla 2.15 Características de las fisuras de bloque en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)	78

Tabla 2.16 Características de la ondulación en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340).....	78
Tabla 2.17 Características de las depresiones en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)	79
Tabla 2.18 Características de la erosión por chorro de turbina en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)	79
Tabla 2.19 Características de las fisuras por flexión de juntas en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)	80
Tabla 2.20 Características de las fisuras long. y tran. en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340).....	81
Tabla 2.21 Características de un derrame de combustible en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)	82
Tabla 2.22 Características de baches en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)	82
Tabla 2.23 Características de agregados pulidos en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)	82
Tabla 2.24 Características de peladura y efecto a la intemperie en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)	83
Tabla 2.25 Características de ahuellamiento en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340).....	84
Tabla 2.26 Características de PCC expuesto en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340).....	84
Tabla 2.27 Características de fisuras por resbalamiento en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)	85

Tabla 2.28 Características de hinchamiento en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340).....	85
Tabla 2.29 Características de estallidos en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340).....	86
Tabla 2.30 Características de rotura de esquina en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)	87
Tabla 2.31 Características de fisuras longitudinales, transversales y diagonales en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340).	88
Tabla 2.32 Características de fisura de durabilidad D en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340).....	89
Tabla 2.33 Características de daño de sellado de juntas en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)	90
Tabla 2.34 Características de baches menores en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)	91
Tabla 2.35 Características baches mayores en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340).....	91
Tabla 2.36 Características de pérdida repentina en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)	91
Tabla 2.37 Características de bombeo en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340).....	92
Tabla 2.38. Características de desprendimiento superficial, mapa de fisuras, fisuras erráticas en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340).....	92
Tabla 2.39 Características de fisuras por contracción en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340).....	92

Tabla 2.40 Características asentamiento o fallas en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)	93
Tabla 2.41 Características de losa cuarteada en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)	93
Tabla 2.42 Características de desprendimiento en juntas transversales y longitudinales, en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)	94
Tabla 2.43 Características de desprendimiento de esquinas en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)	95
Tabla 2.44 Normas y pruebas para pavimentos (Autoría propia).....	100
Tabla 3.1. Cuestionario y posibles respuestas (Autoría propia).....	120
Tabla 3.2. Ejemplo de hoja de registro de información en inspecciones y condición de pavimentos flexible. (Autoría propia, recuperado de [23]).	122
Tabla 3.3. Ejemplo de hoja de registro de información en inspecciones y condición de pavimentos de hormigón. (Autoría propia, recuperado de [23]).	123
Tabla 3.4. Criterio alternativo para determinar el número de unidades de muestra a inspeccionar (Recuperado de [23]).	125
Tabla 3.5. Ejemplo de hoja de inspección para pavimento asfáltico (Autoría propia, recuperado de [23]).	127
Tabla 3.6. Cálculo de valor corregido del PCI para pavimento flexible (Recuperado de [23]).	129
Tabla 3.7. Ejemplo de hoja de inspección para pavimento Portland (Autoría propia, recuperado de [23]).	130
Tabla 4.1. Patologías de Aeropuerto CJS de septiembre 2020 (Autoría propia).	137
Tabla 4.2. Patologías de Aeropuerto CJS del 13 de octubre 2020 (Autoría propia).	138

Tabla 4.3 Patologías de Aeropuerto CJS del 22 de enero 2021 (Autoría propia).	139
Tabla 4.4 Patologías de Aeropuerto CJS del 12 febrero 2021(Autoría propia). .	141
Tabla 4.5. Patologías de Aeropuerto CJS del 14 de febrero 2021(Autoría propia).	142
Tabla 4.6. Patologías de Aeropuerto CJS del 23 de abril del 2021(Autoría propia).	143
Tabla 4.7 Patologías de Aeropuerto CJS del 17 de septiembre del 2021 (Autoría propia).	145
Tabla 4.8 Guía para el mantenimiento y reparación de los problemas más comunes en pavimentos flexibles(Autoría propia, recuperado de [25])	146
Tabla 4.9 Guía rápida para el mantenimiento y reparación de los problemas más comunes en pavimentos rígidos (Autoría propia, recuperado de [25])	147
Tabla 4.10 Método ASTM 5340 para la cabecera 21 1/2 (Autoría propia).	153
Tabla 4.11 Método ASTM 5340 para la cabecera 21 2/2 (Autoría propia).	154
Tabla 4.12 Método ASTM 5340 para posiciones remotas de la plataforma comercial 1/2 (Autoría propia).	156
Tabla 4.13 Método ASTM 5340 para posiciones remotas de la plataforma comercial 2/2 (Autoría propia).	156
Tabla 4.14. Tipos de inspecciones impartidas por OMA (Autoría propia).	159
Tabla 4.15 Resultados método Kano (Autoría Propia).	160
Tabla 4.16. Resultados en porcentaje de método Kano (Autoría propia).	160
Tabla 4.17. Costo de fallas en pavimento flexible (Autoría propia).	162
Tabla 4.18 Costo de fallas en pavimento rígido (Autoría propia).	162
Tabla 4.19Ejemplo de la guía de inspección (Autoría propia).	164

Tabla 4.20. Guía de inspección 1/10; Datos generales (Autoría propia).....	165
Tabla 4.21. Guía de inspección 2/10; Cabecera 21 (Autoría propia).....	166
Tabla 4.22. Guía de inspección 3/10; Cabecera 03 (Autoría propia).....	167
Tabla 4.23. Guía de inspección 4/10; Pista 03-21 (Autoría propia).....	168
Tabla 4.24. Guía de inspección 5/10; Calle de rodaje A (Autoría propia).....	169
Tabla 4.25. Guía de inspección 6/10; Calle de rodaje B (Autoría propia).....	170
Tabla 4.26. Guía de inspección 7/10; Calle de rodaje B (Autoría propia).....	171
Tabla 4.27. Guía de inspección 8/10; Plataforma comercial, posiciones remotas (Autoría propia).....	172
Tabla 4.28. Guía de inspección 9/10; Plataforma comercial, posiciones de contacto (Autoría propia).....	173
Tabla 4.29. Guía de inspección 10/10; Complementario (Autoría propia).....	174
Tabla 7.1. Manual de Autoinspección Continua OMA, 1 de 2 (Recuperado de [28]).	183
Tabla 7.2. Manual de Autoinspección Continua OMA, 2 de 2 (Recuperado de [28]).	184
Tabla 7.3. Manual de Autoinspección Diaria OMA, 1 de 3 (Recuperado de [28]).	185
Tabla 7.4. Manual de Autoinspección Diaria OMA, 2 de 3 (Recuperado de [28]).	186
Tabla 7.5. Manual de Autoinspección Diaria OMA, 2 de 3 (Recuperado de [28]).	187
Tabla 7.6. Manual de Autoinspección Periódica OMA, 1 de 2 (Recuperado de [28]).	188

Tabla 7.7. Manual de Autoinspección Periódica OMA, 2 de 2 (Recuperado de [28]).	189
Tabla 7.8. Manual de Autoinspección Especial OMA, 1 de 2 (Recuperado de [28]).	190
Tabla 7.9. Manual de Autoinspección Especial OMA, 2 de 2 (Recuperado de [28]).	191

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Este glosario contiene los conceptos aeronáuticos básicos para que el lector pueda comprender cada uno de los aspectos a tratar en el desarrollo del proyecto, los cuales son basados en la normativa aeronáutica aplicable.

ACN (número de clasificación de aeronaves): Numero que indica el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento, para determinada resistencia normalizada del terreno de fundición.

Aeronave: Aeronave es “toda máquina que puede desplazarse en la atmosfera por reacciones del aire que sean las reacciones de este contra la superficie de la tierra”, según la OACI.

Área de maniobras: Áreas del aeródromo destinada para aterrizaje despegue y el rodaje de las aeronaves, esta área no incluye plataformas.

Área de movimientos: Es el área de maniobras y plataformas.

Baliza: Objeto puesto en el terreno, para indicar obstáculos o indicar límites.

Calle de rodaje: Vía en el aeródromo terrestre, cuyo objetivo es el rodaje de aeronaves, de un lugar a otro dentro del aeródromo.

CBR (California Bearing Ratio): conocido como índice de penetración California. Relación de resistencia del suelo determinada mediante comparación de la carga de penetración del suelo con un material normalizado.

Centro de viraje: Punto de referencia sobre el cual gira una aeronave.

Cimiento: capa o capas de material seleccionado especificado de espesor calculado, colocadas sobre el terreno de fundición para soportar el firme.

Elevación de aeródromo: La elevación más alta en el área de aterrizaje.

Envergadura: Es la distancia de punta a punta de las alas del avión.

Firme: capa o capas de material especificado o seleccionado, espesor designado, que se apoya sobre un cimiento, o sobre el terreno de fundición, para soportar la capa superficial o revestimiento.

Franja de calle de rodaje: Es una zona que abarca la calle de rodaje, esta delimita la misma, para evitar que una aeronave se salga de esta.

Franja de pista: Superficie que abarca la pista y la zona de parada.

Hormigón asfáltico: conocido como hormigón bituminoso, mezcla de árido con asfalto o betún y relleno, extendida en frío o en caliente, y finalmente cilindrada.

Hormigón de cemento (Concreto): Mezcla de áridos graduados, con cemento Portland y agua.

Obstáculo: Todo objeto que intervenga en la operación de aeronaves ya sea en área de movimientos o sobre pase a un área de protección de aeronaves.

Pavimento: Combinación de cimiento, firme y revestimiento, colocada sobre un terreno de fundición para soportar las cargas del tránsito y distribuir las al terreno. Existen dos tipos de pavimentos el flexible y el rígido, que se pueden combinar.

PCN (Numero de clasificación de pavimentos): Numero que indica la resistencia de un pavimento, para utilizarlo sin restricciones.

Plataforma: Espacio definido del aeródromo terrestre para el embarque o desembarque de pasajeros, además de servir de estacionamiento y para brindar los servicios a la aeronave.

Recrecimiento: revestimiento adicional colocado sobre el pavimento existente, bien sea con firme intermedio o sin él, usualmente para reforzar el pavimento o para restaurar el perfil de la superficie.

Resistencia: medida de la idoneidad de un pavimento para soportar la carga aplicada.

Revestimiento: la capa superior de una estructura de pavimento.

Sistema de gestión de la seguridad operacional: Estructura sobre líneas de responsabilidad, políticas y procedimientos necesarios para un enfoque sistemático de la gestión operacional.

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

ACN	Numero de clasificación de aeronaves
ASA	Aeropuertos y Servicios Auxiliares
ASTM	Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials o ASTM International)
A	Categoría de la resistencia de la cimentación alta
B	Categoría de la resistencia de la cimentación media
CJS	Código IATA para el “Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez”
DGAC	Dirección General Aeronáutica Civil
DOF	Diario Oficial de la Federación
FAA	Administración Federal de Aviación
FOD	Objeto extraño
IATA	Asociación Internacional de Transporte Aéreo
MCA	Manual de Certificación de Aeródromos
OACI	Organización de aviación Civil Internacional
OMA	Grupo Aeroportuario Centro Norte
PCA	Asociación de Cemento Portland
PCC	Hormigón de cemento Portland
PCN	Número de Clasificación de Pavimento

PCN	Numero de clasificación de pavimentos
R	Tipo de pavimento rígido
SCOP	secretaria de Comunicaciones y Obras publicas
SCT	secretaria de Comunicaciones y Transportes
SENEAM	Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano
SMS	Sistema de gestión de la seguridad operacional
SMS	Sistema de gestión de la seguridad operacional
T	Base de la determinación técnica
X	Presión máxima permisible de neumáticos media

RESUMEN

Es bien sabido que en la aviación la seguridad es un factor esencial, incluso cuando las aeronaves se encuentran en tierra. Por este motivo es imperante atender las necesidades de los pavimentos que soportan las operaciones aéreas en el aeropuerto. Estos pavimentos requieren de un proceso de preparación y deposición específico que se rige bajo normas que establecen su calidad. Sin embargo, cuando la infraestructura no está preparada para atender una demanda superior para la que fue diseñado, suelen derivarse condiciones latentes que podrían poner en riesgo la operación y a quienes se involucran en esta. Debido a lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo desarrollar una propuesta de mejora en el proceso de mantenimiento preventivo de los pavimentos del Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez. Para lo cual se requiere hacer un análisis de las condiciones actuales de los pavimentos para identificar las fallas existentes y evaluar sus posibles efectos sobre la operación aérea a partir de la cual se desarrollará una propuesta en el proceso de inspección de pavimentos rígidos y flexibles. El resultado que se pretende obtener es un manual que sirva como guía y que describa un método de inspección para los mantenimientos preventivos, el cual deberá ser práctico y específico para el Aeropuerto de Ciudad Juárez. Este estudio busca ser un apoyo para el personal a cargo en la toma de decisiones del mantenimiento que requieren los pavimentos de los aeropuertos lo que puede contribuir en la seguridad de los pasajeros y del personal.

Palabras clave

Pavimentos aeroportuarios; Fallas; Impacto, Operación Aérea.

ABSTRACT

It is well known that safety is essential in aviation, even when aircraft are on the ground. For this reason, it is imperative to meet the needs of the pavements that support air operations at the airport. These pavements require a specific preparation and deposition process that is governed by low-quality standards. However, when the infrastructure is not prepared to meet a higher demand for which it was designed, latent conditions often arise that could put the operation and those involved in it at risk. Due to the above, the present research aims to develop a proposal for improvement in the preventive maintenance process of the pavements of the Ciudad Juárez International Airport. For which an analysis of the current conditions of the pavements is required to identify the existing faults and evaluate their possible effects on the aerial operation from which a proposal will be developed in the inspection process of pavements and flexible. The intended result is a manual that serves as a guide and that describes an inspection method for preventive maintenance, which should be practical and specific for the Ciudad Juárez Airport. This study seeks to be a support for the personnel in charge of making maintenance decisions required by airport pavements, which can contribute to the safety of passengers and staff.

Keywords

Airport pavements; Failures; Impact; air operations.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

“Hay que estar preparado para todo. Y hay que evitar lo que no nos conviene”.

Marcelo Bielsa

La OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) describe un aeropuerto como un aeródromo civil público, con infraestructura necesaria para brindar servicios para las operaciones aéreas, como embarque y desembarque de pasajeros, carga y correo del transporte regular y no regular, además del transporte privado comercial y no comercial [1], donde un aeródromo civil es área conformada de tierra o agua apta para despegue, aterrizaje, acuatizaje o movimiento de aeronaves con una de las instalaciones o servicios para garantizar una operación segura [1][2].

Los aeropuertos cuentan con diferentes secciones, mismas que se diferencian por los servicios que realizan y a quien van dirigidos, por ejemplo, el lado aire va dirigido a facilitar la operación de aeronaves, este se conforma por calles de rodaje, hangares, plataformas, áreas de movimientos, etc. [2], en general en el lado aire se asignan actividades y/o operaciones necesarias para las atender las aeronaves, mientras que el lado tierra se dedica a las funciones y/o operaciones destinadas para los pasajeros.

Todo aeropuerto busca ofrecer a sus clientes un servicio seguro, ordenado y expedito; por este motivo la calidad en la infraestructura que brinda soporte a la operación aérea debe ser de gran nivel, esto se logra con mayor facilidad si los procesos de mantenimiento se desarrollan bajo normas establecidas, así como la capacitación del personal para ejecutar estos procesos preventivos y correctivos, el mantenimiento de pavimentos no es la excepción en estos mantenimientos.

El presente proyecto inicia con un análisis enfocada a la detección de los problemas presentes en el mantenimiento de pavimentos dentro de lado aire del “Aeropuerto Internacional Abraham González de Ciudad Juárez (CJS)”, identificando los procesos que se generan para preservar los pavimentos. Además de un análisis de diseño de un pavimento destinado para un aeropuerto con capacidad a la del Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez. Todo esto para lograr que las operaciones aéreas se realicen de manera correcta y segura, basados en a la normativa aplicable con el objetivo de optimizar los recursos existentes.

1.1 Antecedentes

En los últimos tres años se ha registrado incremento en el número de vuelos; según Flightradar de enero de 2021 a septiembre de 2021 se registraron en promedio 170653 vuelos diarios (Figura 1.1). A pesar del descenso en 2020, se puede ver una recuperación notable en el 2021, esta cantidad de vuelos requiere de diversos servicios que aseguren la calidad del viaje. Entre los servicios importantes destacan

los pavimentos, que se encuentran en las pistas de aterrizaje y despegue, así como las plataformas y calles de rodaje.

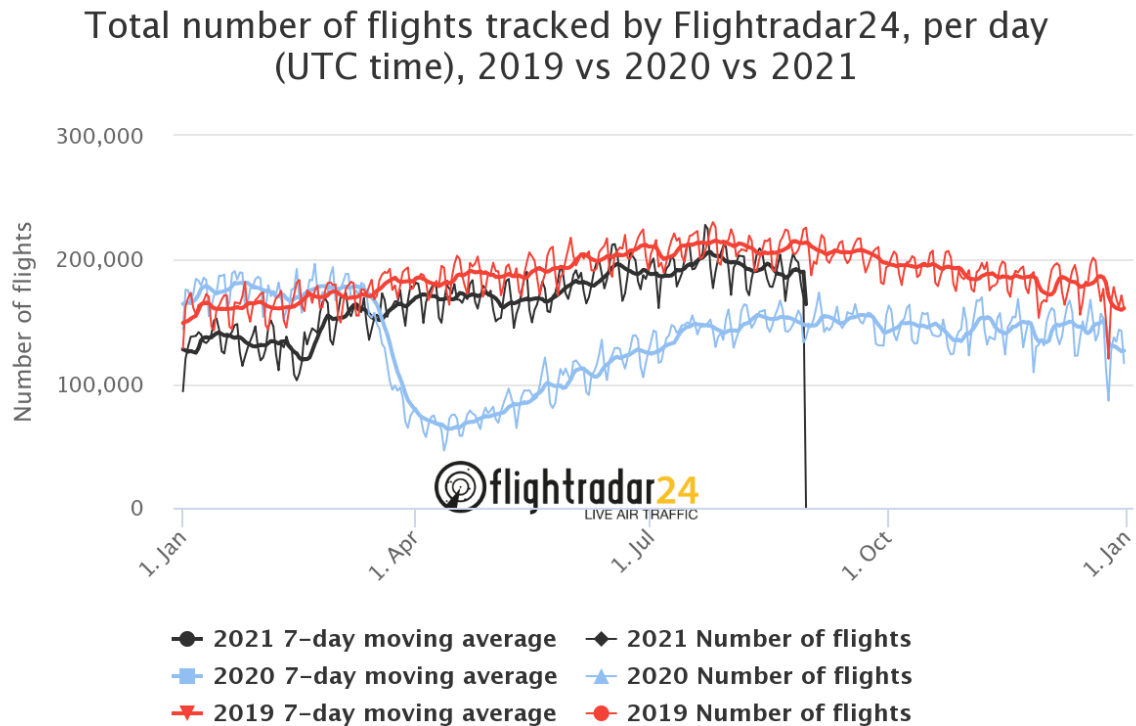


Figura 1.1. Número total de vuelos seguidos por Flightradar24, por día (hora UTC), 2019 vs 2020 vs 2021 (obtenida de <https://www.flightradar24.com/data/statistics/8/30/21>).

La seguridad aeroportuaria es primordial en las operaciones aeronáuticas y el descuido de sus pavimentos podría ocasionar accidentes, incidentes o incluso el cierre del aeropuerto, donde el permiso de operación del aeropuerto podría ser restringido en algunas cláusulas o bien ser suspendido cuando el aeropuerto no cumpla con los requisitos y condiciones necesarias y obligatorios por la normativa para garantizar la seguridad de las operaciones aéreas, a causa del incumplimiento de las normas o por modificación en la operación [3].

Todas las instalaciones incluida la infraestructura aeroportuaria requieren de mantenimientos, principalmente de tipo preventivo y de forma continua. Este tipo de mantenimiento posibilita análisis de las fallas y el deterioro de los pavimentos. Las principales fallas y deterioro que se presentan se encuentran en las juntas de dilatación y construcción, que requieren de atención constante ya que una vez que se termina la vida útil se requiere rehabilitar por completo los pavimentos, lo cual implica menor superficie disponible, menor servicio, menor disponibilidad y mayor gasto [3].

El inhabilitar una de las áreas de pavimentos dentro del aeropuerto, genera pérdidas muy grandes directamente al aeropuerto, aerolíneas y los usuarios, causado por mantenimiento, reparación o bien re-encarpetamiento de este, entre las consecuencias se destacan los retrasos de los vuelos, cancelación de estos, saturación en el aeropuerto lo que a su vez con lleva pérdidas económicas.

Como sucedió en el aeropuerto de Medina en Cundinamarca en Colombia que fue cerrado en el año del 2017 por la Aeronáutica Civil, por el desgaste en los pavimentos, propiciado tanto por los vehículos y las aeronaves como por las condiciones climáticas, tal como se muestra en la Figura 1.2, donde se observa el estancamiento de agua en los baches formados en el pavimento De acuerdo con lo reportado fue necesario hacer estudios para reconstruir el aeropuerto incluyendo el remplazo de la carpeta asfáltica [4].

Con base a los estudios realizados decidieron la reconstrucción de la pista, así como la calle de rodaje, dicha calle requería de un recarpeteo para poder reemplazar la carpeta asfáltica, mientras que a la pista realizó un fresado, así como reponer la carpeta asfáltica de 5 cm; además de otras reconstrucciones en otras de las áreas de movimientos. Esta reconstrucción se estimó en \$46,169,105,121 pesos [4].



Figura 1.2 Pozos de agua en el manto asfáltico [4].

Lo anterior muestra que no tener un sistema de gestión del mantenimiento preventivo de la infraestructura de los aeropuertos puede derivar en un coste económico e incluso social alto.

1.2 Descripción del problema

El Aeropuerto Abraham González ubicado en Ciudad Juárez, Chihuahua, está conformado por una terminal para dar atención a los usuarios, a través de cinco aerolíneas comerciales, con capacidad de dos pistas, una de ellas la principal 03/21 con dimensiones de 2700 m * 45 m y la otra de menos uso por ser de menor tamaño, considerada la pista secundaria 14/32 con dimensiones de 1750 m * 30 m. También cuenta con tres calles de rodaje, dos plataformas, una de aviación general y otra de aviación comercial, esta última cuenta con siete puestos de estacionamiento, dos de contacto y cinco remotas [2].

En relación con el mantenimiento que se ha dado a este aeropuerto, en el 2003 se realizó una reconstrucción total de la capa superior de la pista principal, debido al deterioro que presentaba y a consecuencia del registro de incidencias en el 2002 ocasionadas por la mala condición de la pista principal, así mismo en 2021 se comenzó la remodelación del aeropuerto tanto en edificio terminal como en la plataforma comercial.

La pista principal fue recarpeteada por secciones; Sin embargo, el resto de la pista es un procedimiento diferente ya que es la pista en uso, por eso el recarpeteo se realiza por secciones durante la noche, cuando las operaciones dentro del aeropuerto CJS están inactivas, así hasta terminar el recarpeteo. A principios del año 2021 se realizó una reconstrucción de la calle de rodaje Bravo (Figura 1.3).

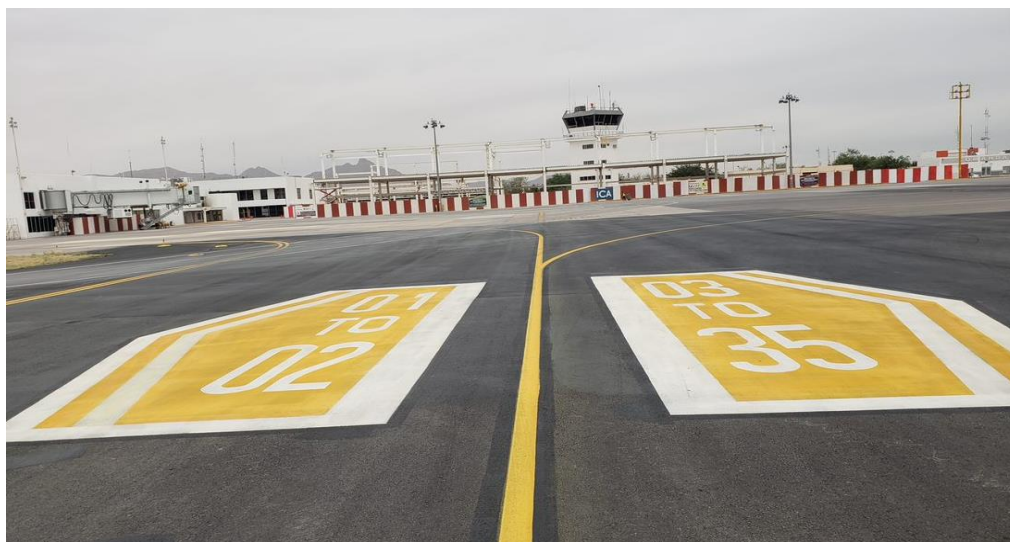


Figura 1.3. Reconstrucción calle de rodaje B, (autoría propia).

Actualmente en el Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez se realizan inspecciones visuales periódicas para evaluar las condiciones de los pavimentos, de requerirlo se emplea alguna solución, siendo la más fácil, rápida y de menor costo, sin embargo, no se consideran las condiciones climáticas para el material de las reparaciones, después de varias reparaciones y/o parches se opta por re-encarpetar desde cero alguna sección del pavimento. En general no se realiza algún mantenimiento más profundo a menos que la vida útil del pavimento lo requiera, o bien que la autoridad aeronáutica lo solicite, mientras solo se parchan las fallas sin el objetivo de repararla en su totalidad.

El Aeropuerto internacional Abraham González es un soporte socioeconómico para Ciudad Juárez, contribuye con el desarrollo del comercio local en busca de una mejora continua y por tal motivo es importante que permanezca activo como una fuente confiable y de soporte. Este Aeropuerto permite la conectividad con

otros destinos y dada su actividad junto con las condiciones climáticas y del suelo se produce desgaste en los pavimentos.

Con el crecimiento de las operaciones y los cambios climáticos de Ciudad Juárez, los pavimentos del aeropuerto soportan un uso constante lo que tiene un impacto significativo en su desgaste. Este desgaste genera una serie de fallas sobre las estructuras pavimentadas en el área operacional de dicho Aeropuerto, principalmente en el área de movimientos (plataforma, rodajes y maniobras). Estas fallas requieren de un mantenimiento específico dependiendo de su naturaleza. Sin embargo, no se han llevado a cabo los análisis cuantitativos necesarios, donde se identifique con precisión el lugar y el tipo de fallas; lo que, entre otros efectos, puede dar lugar a un incidente o accidente, afectando tanto al personal como al usuario. Esto a su vez es debido a que no existe una guía metodológica que integre el proceso de cómo se debe llevar una revisión y análisis de las condiciones de la infraestructura aeroportuaria.

1.3 Objetivo del proyecto

Desarrollar una guía de inspección práctica basada en el marco normativo, relacionada con las fallas en los pavimentos presentadas en el Aeropuerto de Ciudad Juárez, para apoyar al personal responsable del mantenimiento de esta infraestructura.

1.3.1 Objetivos específicos

- Evaluar las condiciones en los pavimentos a través del proceso de análisis y observación.
- Clasificar los tipos de fallas detectadas en pavimentos rígidos y flexibles.
- Determinar el impacto de las fallas detectadas, sobre las operaciones aéreas, basado en un sistema de gestión de seguridad operacional SMS.
- Efectuar una encuesta para aplicar el método KANO
- Realizar una propuesta, de guía de inspección de pavimentos rígidos y flexibles, basados en los estándares establecido por la autoridad.

1.4 Hipótesis

Una guía de identificación/solución de fallas en los pavimentos basada en la inspección visual de los pavimentos permite hacer un análisis oportuna de las fallas, determinando la causa de manera adecuada y relacionándola con su solución más adecuada, permitiendo alargar la vida útil del pavimento.

1.5 Pregunta de investigación

¿Cómo detectar oportunamente las fallas en pavimentos en el área de movimientos del Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez?

1.6 Justificación

Las instalaciones se construyen bajo lineamientos y normas que permiten estandarizar los requerimientos mínimos para que una operación sea segura, y se pueda alargar su vida útil lo más posible. El deterioro de las instalaciones de un aeropuerto es inevitable por lo que las reparaciones deben ser de la manera más segura, sencilla y confiable, para las condiciones que se requieran en el aeropuerto, en el caso de esta investigación, referente al Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez. Para alargar la vida útil de los pavimentos es necesario contar con mantenimientos correctos, ya que esto permitirá que se beneficien las aerolíneas y con ello los pasajeros, evitando demoras, accidentes o incidentes.

Tomando en cuenta el crecimiento operacional de los últimos años según lo registrado en Flightradar, a través de esta investigación se pretenden analizar los factores que intervienen en el desempeño de las áreas pavimentadas destinadas al soporte de las aeronaves, considerando como prioridad la seguridad operacional.

Al identificar la falla es más fácil atacar correctamente la causa y poder reparar o bien detener la severidad de la falla, por lo que se tiene un ahorro económico atacando directamente el problema. Beneficiando directamente al personal del aeropuerto dedicado a la inspección de las fallas, facilitando dicha inspección, además de poder identificar de manera precisa cada una de las fallas y el impacto.

Dentro de todas las ventajas económicas que puede tener un mantenimiento preventivo de los pavimentos se encuentra la seguridad en beneficio de usuarios y empleados, al hacer uso de instalaciones en buen estado, y por ende se previenen accidentes e incidentes.

1.7 Alcance y delimitación

La presente investigación se limita a los pavimentos rígidos y flexibles de dicho aeropuerto y sus condiciones en las áreas que el aeropuerto permita estar. Analizar los aspectos que interfieren en el deterioro de los pavimentos, además de analizar y clasificar las fallas que se presentan. Con base a este análisis se propondrá una guía de inspección que contenga el tipo de reparación que se debe realizar correspondiente a la severidad de esta y el impacto que se tiene sobre la operación aérea, y en su defecto una reparación adecuada.

El análisis de este proyecto permitirá identificar cada una de las fallas y ofrecer una guía para el mantenimiento adecuado para el tipo de falla adecuada, además de conocer el impacto en las aeronaves, en el personal del aeropuerto y aerolíneas, los pasajeros y la seguridad operacional, así como poder atacar la causa raíz.

CAPÍTULO 2 LITERATURA REVISADA

2.1. Aviación

El vuelo inicio desde la existencia del universo con el vuelo de las aves, en base a esto el humano soñó con el vuelo de el mismo, por lo que en base a la estructura de las aves comenzó a diseñar artefactos capaces de elevarse, a continuación, se muestran algunos de los primeros sucesos de la aviación según [5]:

- 1783: Primer vuelo de un aerostato (globo) en Annonay, construido por los hermanos Montgolfier;
- 1783: Pilatre de Dossier y marqués de Arlandes fueron los primeros hombres que realizaron a un vuelo a bordo de un globo;
- 1867: Otto Lilienthal, ingeniero industrial y aventurero de origen alemán, construye su primer aparato volador, un ornitóptero;
- 1890: Clement Ader, ingeniero de origen francés, despegó y realiza por primera vez en la historia de la humanidad de un vuelo autopropulsado con su ornitopero al que bautiza: el Eolo". A su vez, introduce el concepto de avión;
- 1893: El brasileño Alberto Santos Dumont, practico varias diciplinas en la navegación aérea, realizando su primer vuelo en globo en Paris, Francia, donde se encontraba estudiando la carrera de ingeniería Aeronáutica;
- 1900: Primer vuelo rígido, diseñado por el alemán Ferdinand von Zeppelin;
- 1903: primer vuelo autopropulsado, controlado y piloteado en la historia realizado con un aeroplano más pesado que en los arenales de Kitty Hawk,

carolina del Norte, Estados Unidos. El aeropuerto fue piloteado por Orville Wright, quien los construyó junto con su hermano, Wilbur Wright.

Esto es solo el comienzo de la evolución de las aeronaves, sin embargo, con estas tienen que ir avanzando sus servicios, como lo es la infraestructura de aeródromos y aeropuertos, con ello sus pavimentos. En base a la infraestructura se clasifican los aeropuertos tal como se muestra en la Figura 2.1.

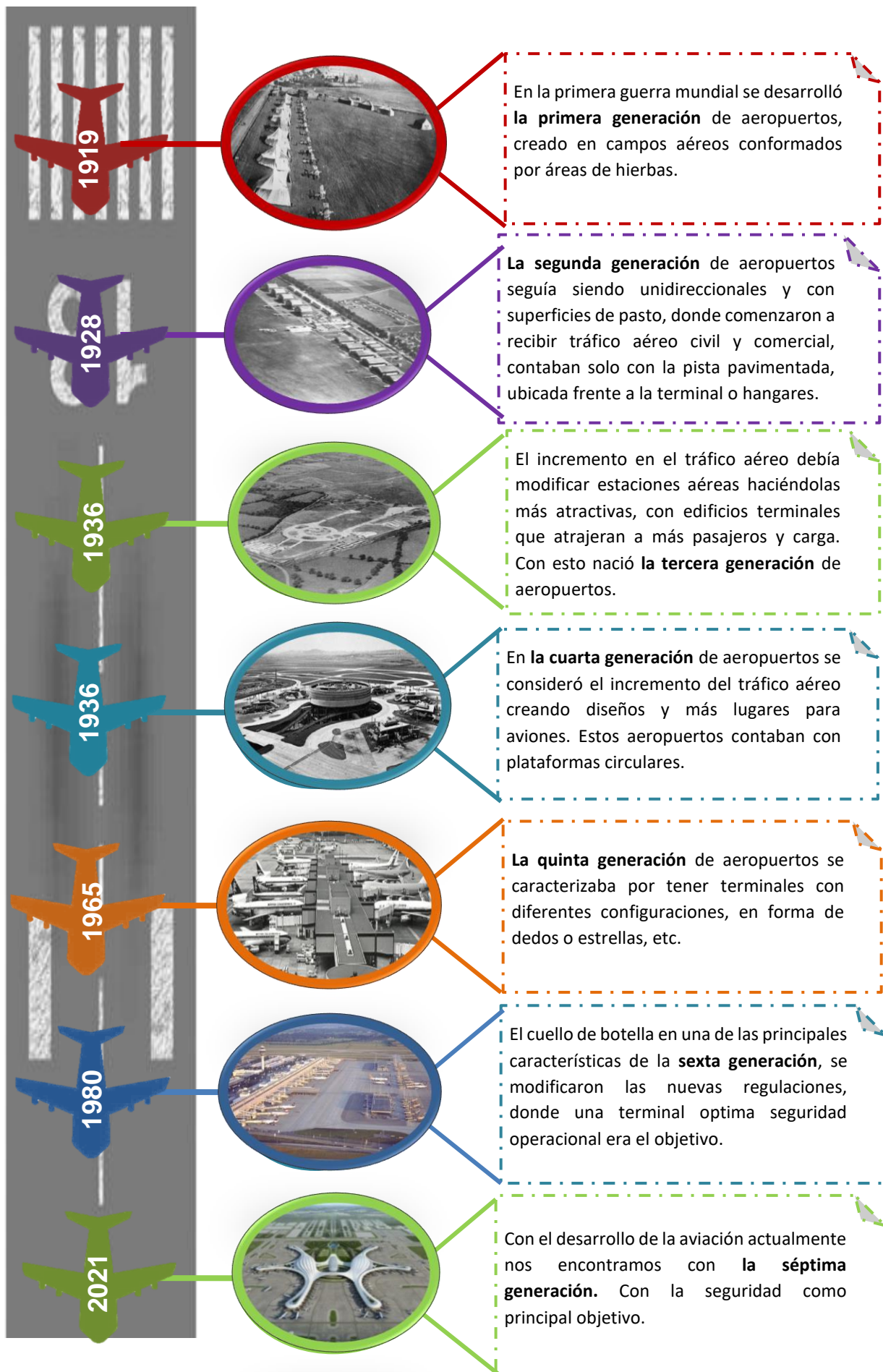


Figura 2.1. Evolución de aeropuertos. (Autoría propia recopilada de [5]).

Al avanzar el tiempo las operaciones aeronáuticas han ido incrementado en todo el mundo, por lo tanto, la evolución de sus instalaciones ha crecido a pasos agigantados para poder estar al nivel de seguridad que requiere la aviación. El primer pavimento de concreto en un aeropuerto se colocó en la terminal de Ford, en Dearborn, Michigan, en los Estados Unidos, durante los años de 1927 y 1928. Posteriormente a esto, los pavimentos de concreto se han hecho parte de los pavimentos aeroportuarios en áreas como pistas, calles de rodaje y plataformas de estacionamiento de aeronaves [4].

En el año de 1924 nació la aviación comercial en México, mismo año en el que surge la primera aerolínea aérea de México, ya que ya se contaba con instalaciones y servicios necesarios para la realización de operaciones aéreas adecuadas, bajo las características de aeronaves que existían en ese momento. Para 1930 se comenzó con la construcción del aeropuerto hoy conocido como AICM, mismo que llevaba el nombre de Puerto Aéreo Central, el cual se ubicaba en los llanos de Balbuena en ese entonces, al encontrarse tan cerca de la ciudad permitió el crecimiento de este aeropuerto, sin embargo, el actual Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México se inauguró en 1952 actualmente este aeropuerto se encuentra ubicado en la delegación Venustiano Carranza, mismo que recibe el nombre de Aeropuerto Internacional Benito Juárez Ciudad de México [6] [4].

El AICM es un aeropuerto que brinda una cantidad muy alta de operaciones al día, por lo que sus instalaciones deben estar en condiciones correctas para brindar un buen servicio. Este aeropuerto cuenta con dos pistas (Figura 2.2), ambas pistas

son de concreto asfáltico con estructuras que van desde 80 cm. De base hidráulica y 20 cm de carpeta asfáltica, hasta la sección semi compensada en 1.75 m de espesor que incluyen plantilla de arena, losa de concreto, subbase de tezontle, base hidráulica y una carpeta asfáltica, además cuenta con 32 calles de rodaje. [4]

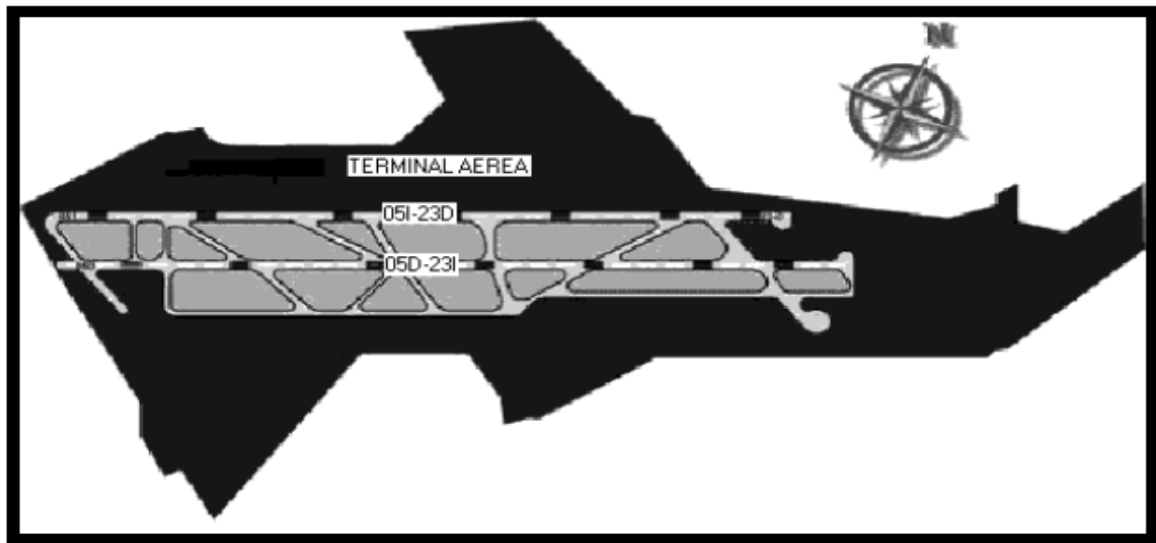


Figura 2.2 Dibujo escalado y ubicación de pistas. [4].

Ciudad Juárez no comenzó con un aeropuerto como tal, sino en un campo de aviación inaugurado en 1968, siendo presidente de la República Mexicana el ciudadano Gustavo Diaz Ordaz. Las primeras aerolíneas de Ciudad Juárez utilizaron el campo aéreo denominado El panteón, localizado cerca del cementerio, sin embargo, este campo no fue suficiente por lo que se movió a unos llanos ubicados cerca del hipódromo de la ciudad (véase Figura 2.3), este lugar estaba en uso por militares y equipos deportivos, por lo que fue necesario la construcción de un nuevo lugar para dar servicios una línea aérea, siendo presidente de la ciudad Antonio J. Bermúdez [6] [2].



Figura 2.3 Panorámica de Ciudad Juárez. En primer término, el hipódromo, al lado del cual se hizo el primer campo de aviación [7].

El actual aeropuerto de Ciudad Juárez comenzó en 1945 por la empresa “Líneas Aéreas Mexicanas S.A. (LAMSA)”, por otro lado, el plan Nacional de aeropuertos siendo responsable la secretaría de Obras públicas era responsable de la construcción de varios aeropuertos, en los cuales pertenecía el de Ciudad Juárez, siendo capacidad para aeronaves de mediano alcance. En la Figura 2.4 se muestra una foto panorámica del primer aeropuerto de Ciudad Juárez [7].

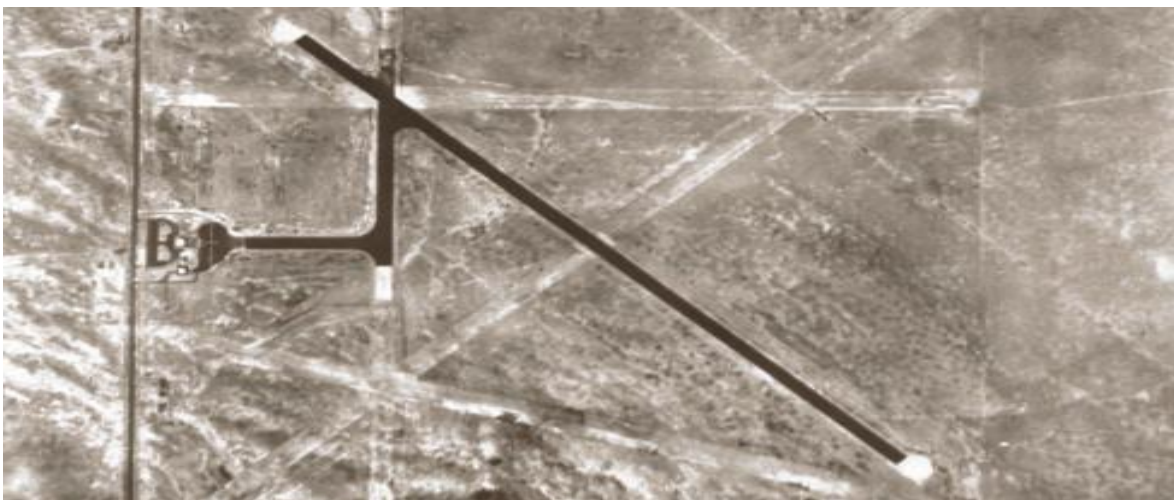


Figura 2.4. Panorámica del primer Aeropuerto de Ciudad Juárez [7].

En el año de 1969 se concluyó el aeropuerto de Ciudad Juárez en el mismo territorio solo se ampliaron las pistas. Por disposición de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, mediante la publicación en el Diario Oficial del 4 de julio de 1978, se retiró la concesión a Nacional de Combustibles de Aviación en favor de “Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA)”, para el almacenamiento, distribución y venta de los combustibles en algunos aeropuertos como en el de Ciudad Juárez [6] [7].

2.2. Infraestructura aeroportuaria y sus características

Un aeropuerto se opera en dos partes: el lado tierra y el lado aire; el lado tierra es destinado para brindar servicios a los pasajeros incluyendo la terminal de pasajeros, zonas de comercio, aduanas, estacionamiento y demás, mientras que el lado aire es para brindar servicios a las aeronaves que incluye las pistas, hangares y área de movimientos [8] [9].

Según la OACI los aeropuertos se clasifican dependiendo las aeronaves que reciben y en base a ello se derivan las características físicas de dicho aeropuerto, la clasificación consta de 2 elementos clave, tal como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Clave de referencia de aeródromo [8].

<u>Elemento 1 de la clave</u>		<u>Elemento 2 de la clave</u>		
<u>Núm. De clave</u>	<u>Longitud de campo de referencia del avión</u>	<u>Letra de clave</u>	<u>Envergadura</u>	<u>Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal</u>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Menos de 800 m.	A	Hasta 15 m (Exclusivo).	Hasta 4.5 m (exclusivo).
2	Desde 800 m hasta 1200 m (exclusivo).	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusivo).	Desde 4.5 m hasta 6 m (exclusivo).
3	Desde 1200 m hasta 1800 m (exclusivo).	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusivo).	Desde 6 m hasta 9 m (exclusivo).
4	Desde 1800 m en adelante.	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusivo).	Desde 9 m hasta 14 m (exclusivo).
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusivo).	Desde 9 m hasta 14 m (exclusivo).
		F	Desde 65 m hasta 80 m (exclusivo).	Desde 14 m hasta 16 m (exclusivo).

El área de movimientos es la parte del aeropuerto que se utiliza para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, integrada por el área de maniobras y las plataformas, específicamente en todas las áreas pavimentadas que brindan servicios a las aeronaves, plataformas, pistas, y calles de rodaje [10].

→ Plataformas: área designada a las aeronaves, para embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento. Cada lugar de estacionamiento de aeronaves en la plataforma de la terminal de pasajeros se conoce como puesto de estacionamiento de aeronaves [10] [9].

Para el diseño de una plataforma, es necesario contar con distancias mínimas libres, además de contar con procedimientos establecidos para poder acceder al área de plataformas, como manejarse dentro de dicha área y como desalojar, para que las operaciones puedan llevarse a cabo de manera segura, además los servicios que se brindan dentro de plataforma requieren también procedimientos de seguridad, los pavimentos deben contar con una resistencia adecuada. Todo esto para tener una mayor eficiencia dentro del área de plataformas [10][11][12].

Entre las características de diseño de las plataformas se encuentra el pavimento, el cual se asigna evaluando la masa de las aeronaves, la distribución de sus cargas y el precio de los materiales que se escojan. El hormigón armado suele utilizarse en los aeródromos en que operan las aeronaves comerciales más grandes, donde se precisa una mayor resistencia y duración [9][10].

Por otro lado, para cumplir las necesidades necesarias de drenaje, maniobras y abastecimiento de combustible, se debe contar con una pendiente en las plataformas del 0.5 al 1.0% en los puestos de estacionamiento y en el resto de la plataforma no debe exceder del 1.5 % [11].

Para determinar que pavimento utilizar es importante conocer el número de clasificación de aeronaves (ACN) y el número de clasificación de pavimentos (PCN). Donde el ACN es el número que indica el efecto de una aeronave sobre un pavimento, determinando así la categoría del terreno de fundición, se calcula con respecto a la posición del centro de gravedad (CG), que determina la carga crítica

sobre el tren de aterrizaje crítico. Normalmente, para calcular el ACN se emplea la posición más retrasada del CG correspondiente a la masa bruta máxima en la plataforma (rampa) y el PCN es el número que indica la resistencia de un pavimento para utilizarlo sin restricciones [8].

Por lo tanto, el PCN notificado indicará que una aeronave con número de ACN igual o inferior al PCN notificado puede operar sobre ese pavimento, si no hay cualquier otra limitación que lo impida, por ejemplo, la presión de los neumáticos o bien la masa total de la aeronave, para determinar el ACN se puede consultar el Manual de diseño de aeródromos (DOC 9157), parte 3 [9].

Para determinar el tipo de pavimento ACN-PCN se utilizan dos tipos de clasificaciones, puede ser pavimento rígido (R) o bien pavimento flexible (F). la OACI específica para los neumáticos y el método de evaluación, la resistencia del terreno de fundación y la presión máxima [8] [9].

Dentro de las plataformas debe existir cierta flexibilidad dentro de sus características, entre las cuales se encuentra la variedad de tamaños de las aeronaves, con ello se definen el número y dimensiones de los puestos de estacionamiento). La configuración de los puestos de estacionamiento dependerá del terreno con el que se cuenta, sin embargo, para una ampliación es indispensable considerar la configuración existente, para no alterar las operaciones [10].

El diseño de la plataforma de la terminal de pasajeros del aeropuerto CJS es en base a un concepto lineal, considerado así en base a lo descrito en el manual de diseño de aeródromo, por lo que es más claro visualizarlo en la Figura 2.5.

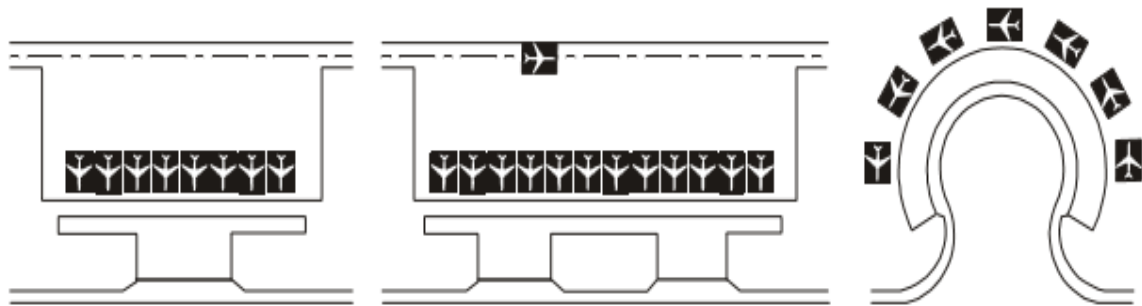


Figura 2.5 Concepto lineal y sus variaciones [10].

Entre las dimensiones necesarias para evaluar el tamaño de los puestos de estacionamiento se encuentran las mostradas en la Figura 2.6, dichas dimensiones son proporcionadas por los manuales de cada aeronave. El área que abarca la plataforma es un lugar que no se puede construir sin bases, ya que las dimensiones de esta dependen de varios factores, tal como lo muestra el manual de diseño de aeródromo [9]:

- a) Dimensiones y características de manejo de la aeronave que utiliza la plataforma;
- b) tráfico utilizando la plataforma;
- c) requisitos de distancias libres;

- d) procedimientos de entrada y salida del puesto de estacionamiento de aeronaves;
- e) diseño básico de terminal u otra utilización del aeropuerto;
- f) lineamientos para las actividades de las aeronaves en tierra; y
- g) Vías de servicio y calles de rodaje.

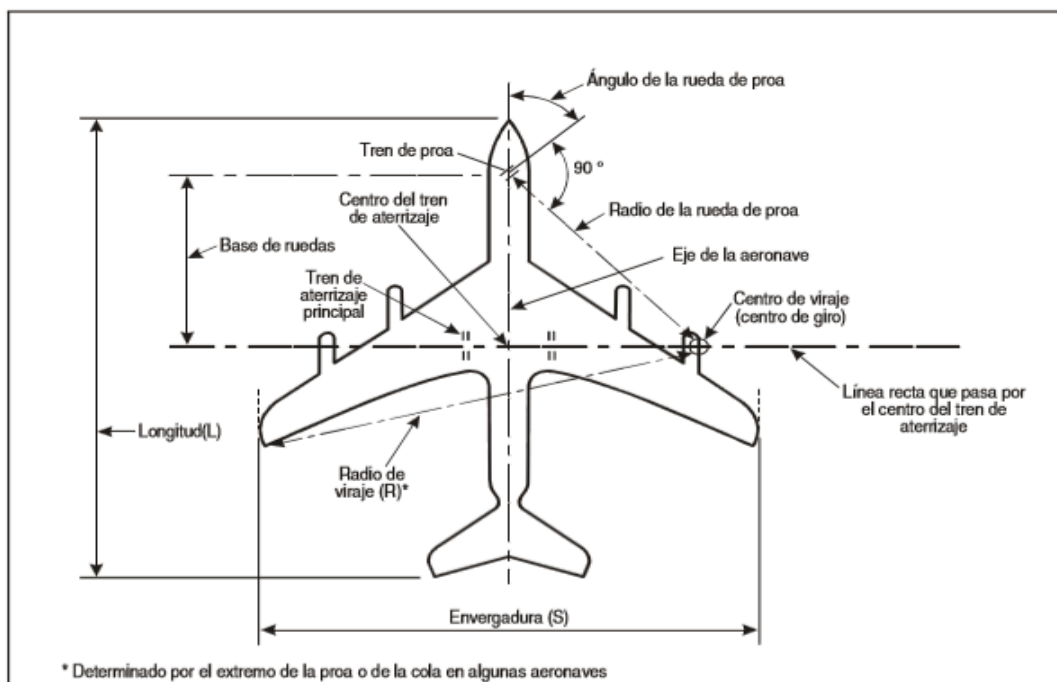


Figura 2.6 Dimensiones para determinar el tamaño del puesto de estacionamiento de aeronaves [10].

→ Pistas: superficie de un campo aéreo, de un aeródromo o bien de un portaaviones, donde los aviones tienen el primer contacto en tierra después del vuelo o bien toman impulso y velocidad adecuada que les permita realizar el despegue, siendo esta uno de los elementos de un aeropuerto con mayor importancia. Estas pistas utilizadas para el aterrizaje y despegue son tramos

rectos y lisos donde en los aeropuertos están hechos de asfalto y/o concreto [13].

El grosor de la base de la pista depende del tipo y tamaño de los aviones a utilizar, para los aviones más grandes se requiere un grosor entre 3 y 5 metros aproximadamente, tan resistente para poder soportar las aeronaves y brindar un buen servicio. Por otro lado, lo largo de las pistas también depende del tamaño y modelo de los aviones que varía de 1 a 3 kilómetros, donde solo puede tener pocos grados de inclinación para el desagüe, sin ser más grande porque puede afectar la velocidad para despegar y aterrizar [13] [10].

Las pistas se construyen en base a los vientos óptimos del lugar, que beneficien tanto al aterrizar como al despegar. Cuentan con diferentes zonas dentro de ellas tal se menciona en el anexo 14 Volumen I, mostradas en la Figura 2.7:

1. Margen: Banda de terreno que marca los límites de un pavimento, tratada de forma que sirva de transición entre ese pavimento y el terreno adyacente. Estos deben resistir el chorro de los reactores y la circulación de los vehículos de servicio [8].
2. La franja de pista: El área designada incluye la pista y cualquier área de parada, destinada a reducir el riesgo de daño a la aeronave más allá de los límites de la pista y así proteger la aeronave durante el despegue o aterrizaje [8] [14].

3. El área anti-chorro: Está ubicada al final de la pista para evitar daños en la superficie debido a la corrosión [14].

4. El área de seguridad de extremo de pista (RESA): Debido a que el área es simétrica a la extensión de la línea media de la pista y adyacente al final de la pista, su objetivo principal es reducir el riesgo de daños cuando la aeronave aterriza una distancia demasiado corta o desciende demasiado. Las aeronaves al realizar aterrizajes y despegues demasiado cortos o largos sufren daños significativos. Para disminuir el daño se cree necesario tener una zona adicional que se extienda más allá de los extremos de la franja de la pista. Estas áreas se conocen como zonas de seguridad de final de pista, las cuales deben ser capaces de soportar aterrizajes muy cortos o largos y deben estar libres de equipos y estructuras irrompibles [8] [14] [1].

5. La zona de parada (SWY): Área asignada en el terreno continuamente al recorrido de despegue disponible, adaptada como zona adecuada para que puedan pararse las aeronaves en caso de despegue interrumpido [8].

6. La zona libre de obstáculos (CWY): Área asignada en el terreno o en el agua y bajo control de la autoridad competente, designada como área adecuada sobre la cual un avión puede efectuar una parte del ascenso inicial hasta una altura indicada [8] [14].

7. Umbral: Comienzo de la parte de pista utilizable para el aterrizaje [14].



Figura 2.7 Elementos de una pista. (Nota. Recuperado de [1])

→ Calles de rodajes: son las vías aeroportuarias destinadas para el rodaje de aeronaves u otros vehículos del aeropuerto, permiten el enlace entre un lugar y otro dentro del lado aire del aeropuerto. Permiten el acceso a puestos de estacionamiento, rodaje en la plataforma, calle de salida rápida, pistas, terminal, hangares, cuentan con señalización que permita no interferir con las operaciones de aterrizaje y despegue. El aeropuerto CJS cuenta con tres calles de rodaje. La capacidad de una pista depende en gran medida del sistema de calles de rodaje, ya que mientras más rápido una aeronave desaloje la pista se podrán realizar más operaciones [8] [14] [1].

La plataforma, pista y calles de rodajes se diseñan en base a las aeronaves que la va a utilizar, existe una variedad de aeronaves para las cuales se brindan servicios dentro del aeropuerto CJS, en el anexo C se muestran las características de la aeronave crítica y sus versiones, junto con ella se encuentran las características de la aeronave categoría C más frecuente y la más frecuente de categoría B.

La aeronave crítica según la NOM-EM-014-SCT3-1994 es “aquella cuyas dimensiones básicas y parámetros operacionales definen las características físicas de un aeródromo, y la categoría de servicios de rescate y extinción de incendios”, mientras que la aeronave frecuente es considerada aquella que más llega al aeropuerto [15].

A continuación, se muestran las características de la aeronave crítica en la versión más grande, que es en base a la que se desarrollara el proyecto que es la A321neo. En la Figura 2.8 se muestran las principales dimensiones de la aeronave visto de lado, en la versión neo, que a su vez cuenta con winglets,

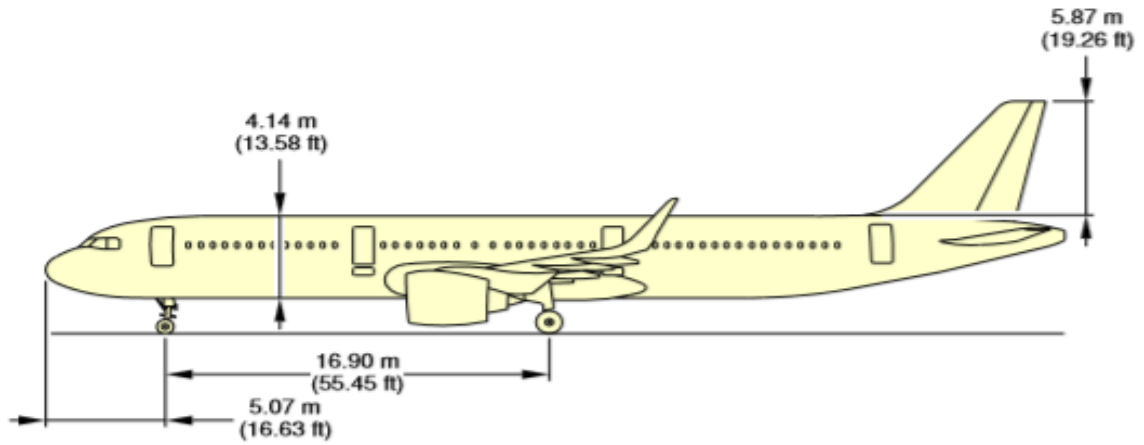


Figura 2.8 Dimensiones generales de la aeronave (Parte 1, A321-Neo)[16].

En la Figura 2.9 se muestran las dimensiones básicas del A321neo, visto de frente a la aeronave, en esta ilustración se muestra una de las dimensiones más significativas que es la envergadura.

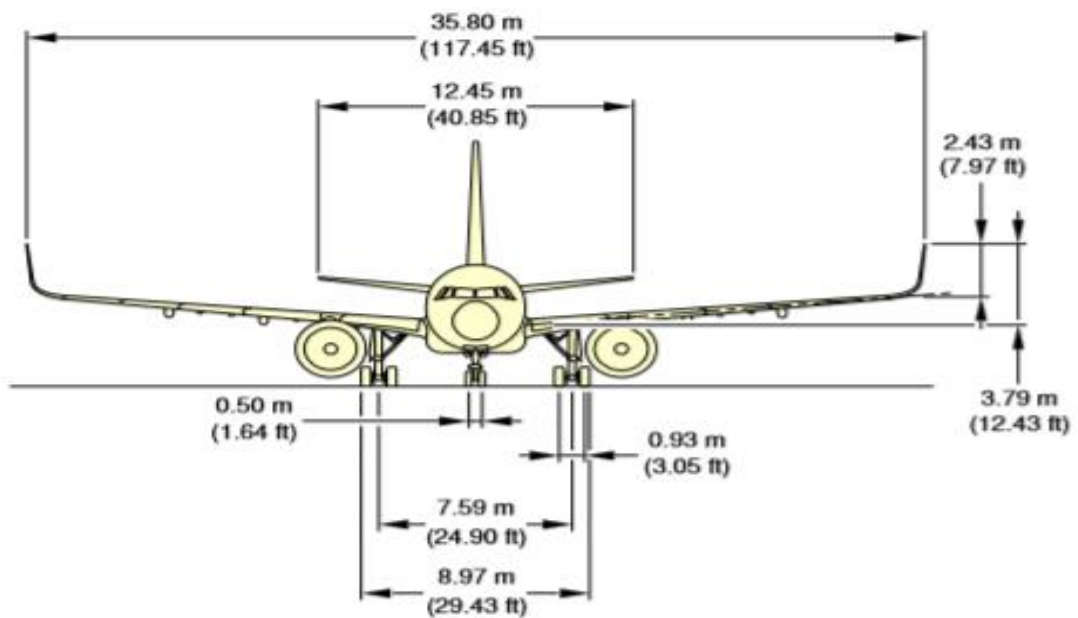


Figura 2.9. Dimensiones generales de la aeronave (Parte 2, A321-Neo)[16].

En la Figura 2.10 se muestran más de las dimensiones de la aeronave A321neo, con una vista desde arriba, mostrando la longitud de la aeronave la cual es otra de las dimensiones más significativas para este proyecto, además se muestra la distancia del chorro de aire de los motores.

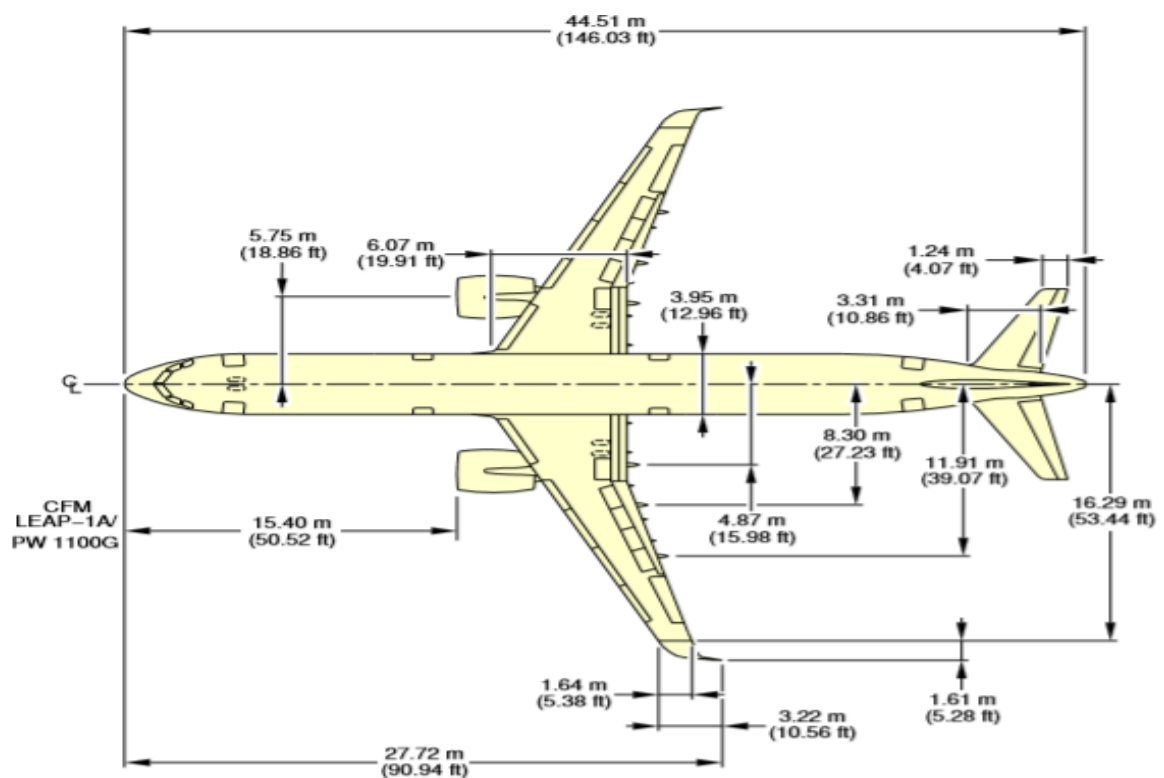


Figura 2.10 Dimensiones generales de la aeronave (Parte 3, A321-Neo)[16].

Por otro lado, para determinar las características de maniobrabilidad de una aeronave es necesario conocer el radio de viraje (R), que depende por otro lado de la posición del centro de viraje. El centro de viraje es el punto en el cual rota la aeronave para mantenerla en completo equilibrio, este punto se encuentra situado a lo largo del eje del tren de aterrizaje principal a una distancia variable del eje del

fuselaje que depende del ángulo de deflexión de la rueda de proa en que se lleve a cabo la maniobra de viraje [2] [12].

Gracias a él radio de viraje se puede medir a distintas partes de la aeronave algunos de estos valores de los radios se miden desde el centro del viraje hasta el extremo del ala; en algunas aeronaves, los radios de viraje se miden desde el centro de viraje hasta la proa de las aeronaves o los estabilizadores horizontales. En la Figura 2.11 se muestran los distintos radios de giro, sin ángulo de desplazamiento del A321 [2][10][16]

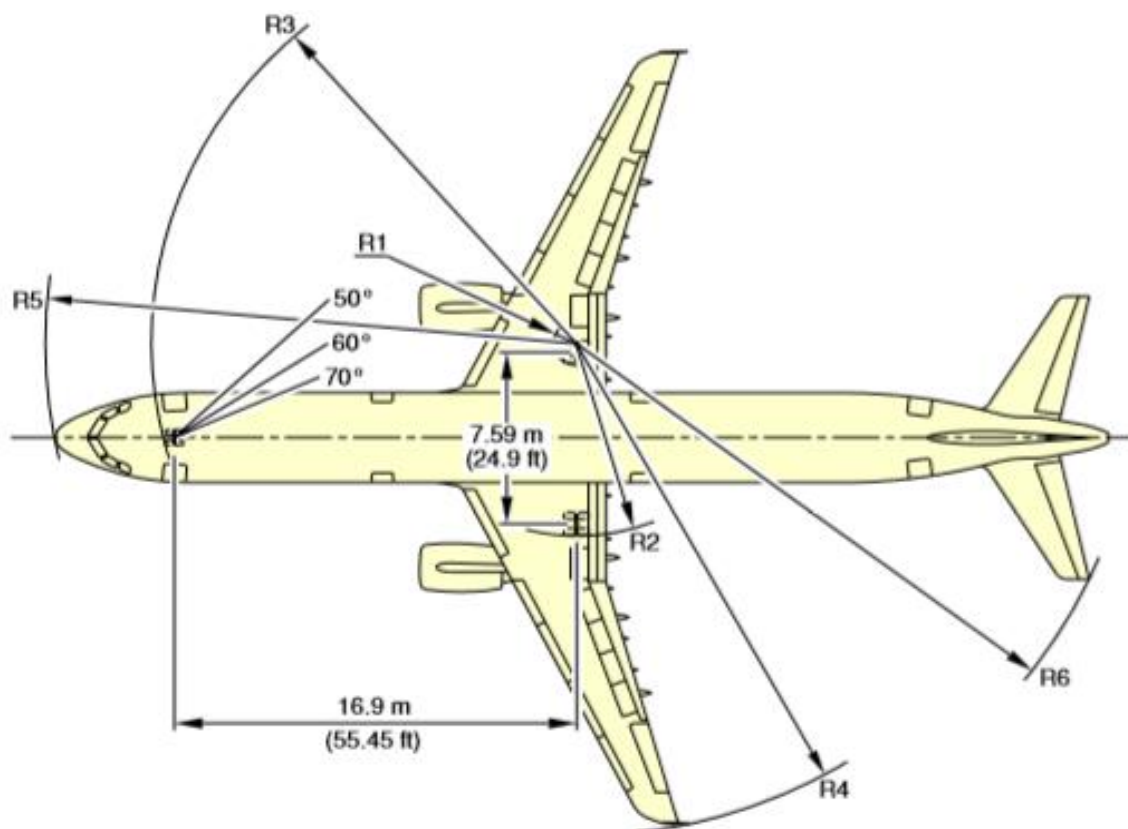


Figura 2.11 Radios de giro, sin ángulo de desplazamiento (A321) [16].

En la Tabla 2.2 se muestra el resultado de los radios de giro, donde se clasifica en dos diferentes tipos giro, donde el de tipo 1 es de frenado diferencial de empuje asimétrica (pivotado en un engranaje principal) y el tipo 2 se realiza con empuje simétrico sin frenado.

Tabla 2.2. Radios de giro, sin ángulo de desplazamiento (A321)(Autoría propia recuperado de [16]).

Tipo de giro	Peso máximo de rampa		R1 RMLG		R2 LMLG		R3 NLG		R4 Ala				R5 Nariz		R6 THS	
	Angulo de dirección (grados)	Angulo de dirección efectivo (grados)	m	ft	m	ft	m	ft	Valla en la punta		Timón		m	ft	m	ft
									m	ft	m	ft				
2	20	19.6	44.3	145	51.9	170	50.7	166	64.7	212	65.5	215	52.3	172	57.9	190
2	25	24.5	34.0	112	41.6	136	41.1	135	54.3	178	55.2	181	43.1	141	48.5	159
2	30	29.4	26.9	88	34.5	113	34.7	114	47.3	155	48.1	158	37.2	122	42.2	139
2	35	34.3	21.7	71	29.3	96	30.3	99	42.1	138	42.9	141	33.1	109	37.8	124
2	40	39.2	17.6	58	25.2	83	27.0	89	38.1	125	38.9	128	30.2	99	36.4	114
2	45	44.0	14.4	47	22.0	72	24.6	81	34.8	114	35.6	117	28.1	92	32.1	105
2	50	48.8	11.7	38	19.3	63	22.7	74	32.1	105	32.9	108	26.5	87	30.2	99
2	55	53.6	9.4	31	16.9	56	21.2	70	29.8	98	30.7	101	25.3	83	28.6	94
2	60	58.3	7.3	24	14.9	49	20.0	66	27.8	91	28.6	94	24.3	80	27.4	90
2	65	63.0	5.5	18	13.1	43	19.1	63	26.1	85	26.9	88	23.6	77	26.3	86
2	70	67.4	3.9	13	11.5	38	18.4	61	24.5	80	25.3	83	23.1	76	25.4	83
2	75 (Max)	71.6	2.5	8	10.1	33	17.9	59	23.1	76	23.9	78	22.7	74	24.7	81
1	50	49.1	11.5	38	19.1	63	22.6	74	32.0	105	32.8	108	26.4	87	30.1	99
1	55	54.0	9.2	30	16.8	55	21.1	69	29.7	97	30.5	100	25.2	83	28.5	94
1	60	58.8	7.1	23	14.7	48	19.9	65	27.6	91	28.5	93	24.2	80	27.2	89
1	65	63.6	5.3	17	12.9	42	19.0	62	25.8	85	26.6	87	23.5	77	26.2	86
1	70	68.4	3.6	12	11.2	37	18.3	60	24.1	79	25.6	82	23.0	75	25.3	83
1	75 (Max)	73.1	2.0	7	9.6	32	17.8	58	22.6	74	23.4	77	22.6	74	24.5	80

Para obtener el mínimo radio de giro se utiliza el ángulo máximo, el cual es de 75°, en la Figura 2.12 se muestra gráficamente los radios mínimos de giro, sin frenos de desplazamiento, para ambos tipos de empuje. Por encima de 50°, las aerolíneas pueden usar giros tipo 1 o tipo 2 dependiendo de la situación. Tipo 1: empuje asimétrico durante todo el turno; y frenado diferencial para iniciar solo el giro. Tipo 2 turnos: empuje simétrico durante todo el turno; y ningún frenado

diferencial en absoluto. es posible obtener valores más bajos que los del tipo 1 aplicando un frenado diferencial durante todo el turno [16].

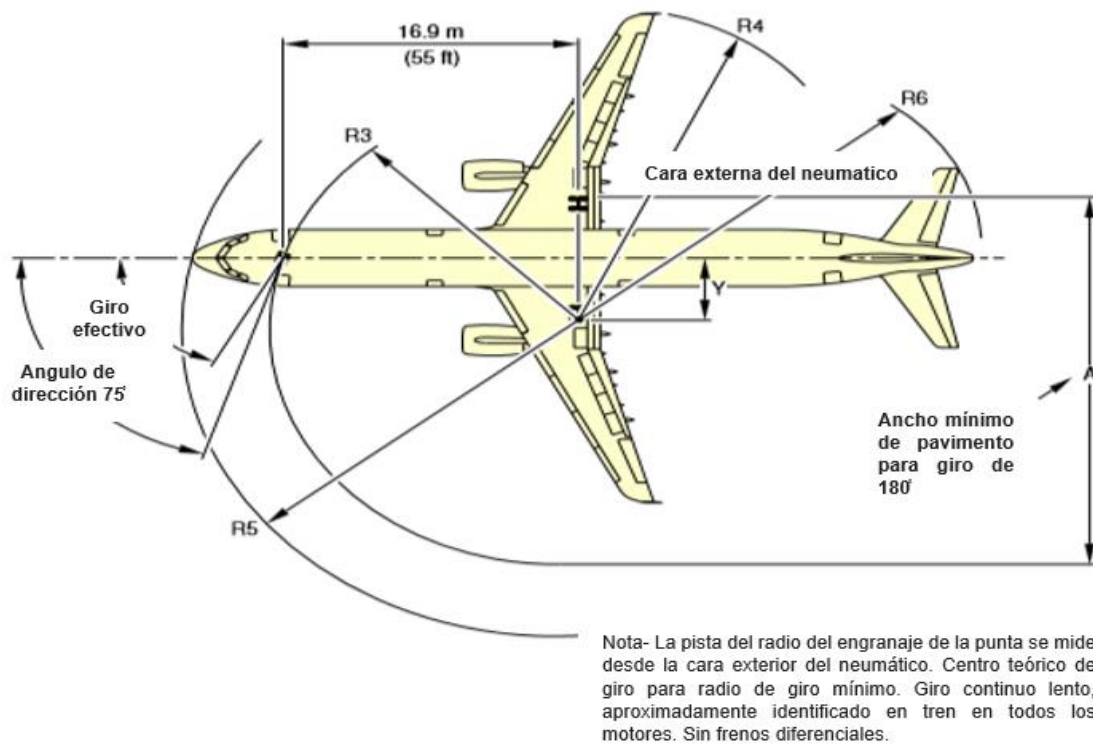


Figura 2.12 Mínimo radio de giro (A321) [16].

En la Tabla 2.3 se muestra los valores de los radios y otras distancias utilizando el ángulo máximo, además de obtener los valores con los dos tipos de empuje. El valor de "A" hace referencia a la distancia mínima del pavimento para realizar un giro de 180° y el valor de "Y" es la distancia del eje al centro de viraje.

Tabla 2.3. Mínimo radio de giro (A321) (Autoría propia recuperado de [16]).

Tipo de giro	Angulo de dirección (grados)	Angulo de dirección efectivo (grados)		Y	A	R3 NLG	R4 Ala		R5 Nariz	R6 THS
							Valla en la punta	Timón		
1	75 (Max)	73.1°	M	5.1	27.7	17.8	22.6	23.4	22.6	24.5
			Ft	17	91	58	74	77	74	80
2	75 (Max)	71.6°	M	5.6	28.3	17.9	23.1	23.9	22.7	24.7
			Ft	18	93	59	76	78	74	81

Otra aeronave importante en el desarrollo del proyecto por sus dimensiones es el Embraer E190, esta aeronave es una de las más frecuentes dentro del aeropuerto CJS por lo que es importante conocer también sus características, es una aeronave de fuselaje estrecho, con dos motores, son las aeronaves más grandes fabricadas por Embraer, con una capacidad entre 98 y 114 pasajeros. Dicha aeronave tiene distintas versiones, pero se mostrará solo las generales del E190 [17].

En la Figura 2.13 se muestran las dimensiones principales vistas de lado, donde se puede observar la longitud de la aeronave, la altura, longitud entre los trenes de aterrizaje, etc.

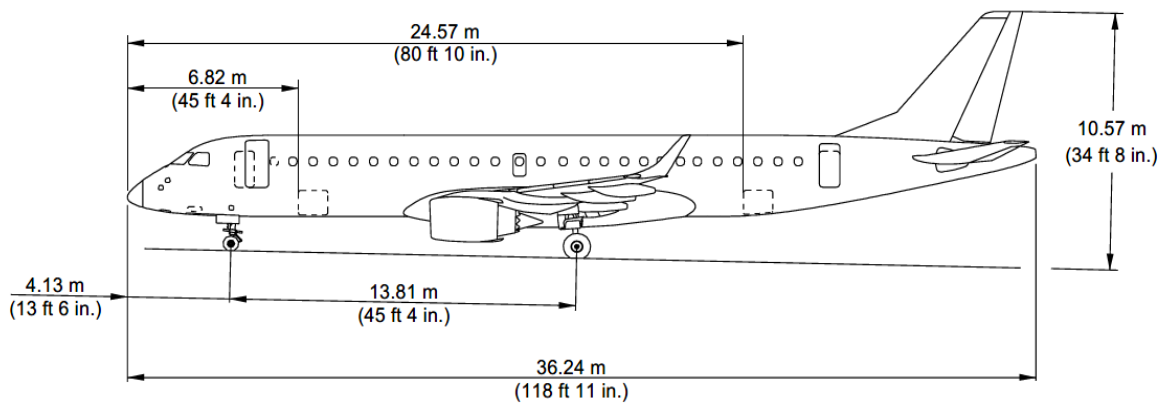


Figura 2.13 Dimensiones generales de la aeronave (Parte 1) [17].

En la Figura 2.14 se muestran las dimensiones básicas del E190, visto de frente a la aeronave, en esta figura se muestra una de las dimensiones más significativas que es la envergadura.

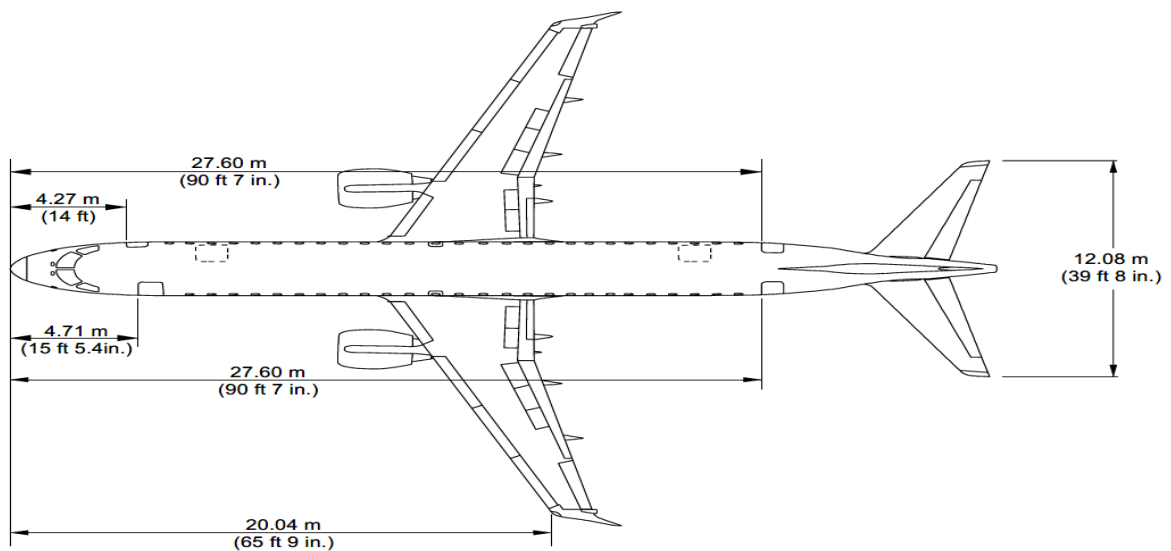


Figura 2.14. Dimensiones generales de la aeronave (Parte 2) [17].

En la Figura 2.15 se muestra más de las dimensiones del E190, dicha aeronave vista de enfrente, confirmando la distancia de la envergadura y la distancia entre los neumáticos del tren de aterrizaje principal, en esta figura se puede observar que es una aeronave con winglets.

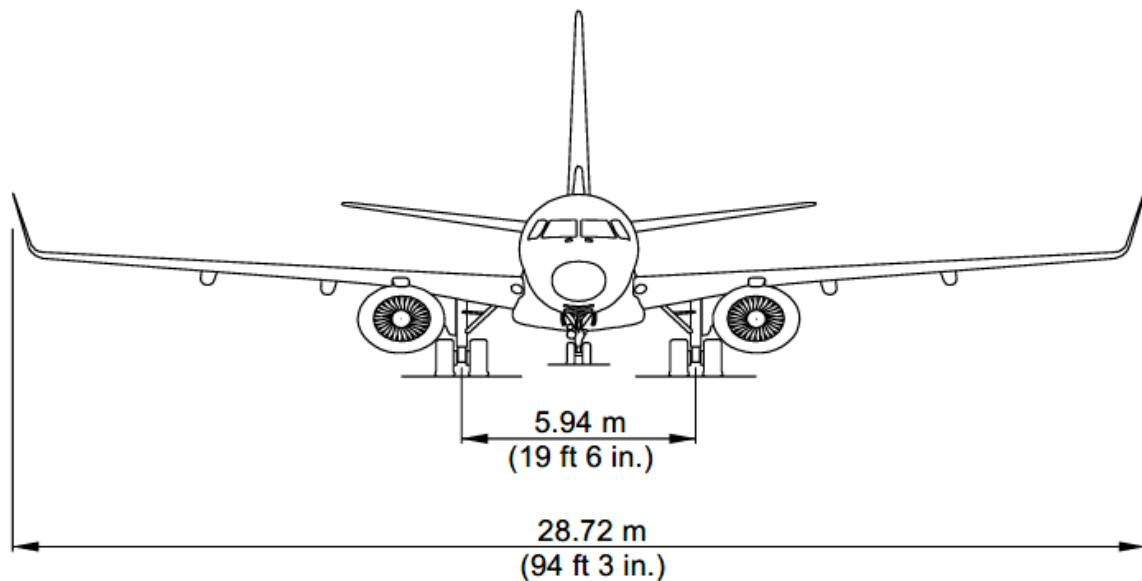


Figura 2.15. Dimensiones generales de la aeronave (Parte 3) [17].

Se sabe que el radio de viraje es importante para determinar las maniobras de las aeronaves y el E190 no es la excepción. En la Figura 2.16 se muestra los radios de viraje sin ángulo de desplazamiento del E190.

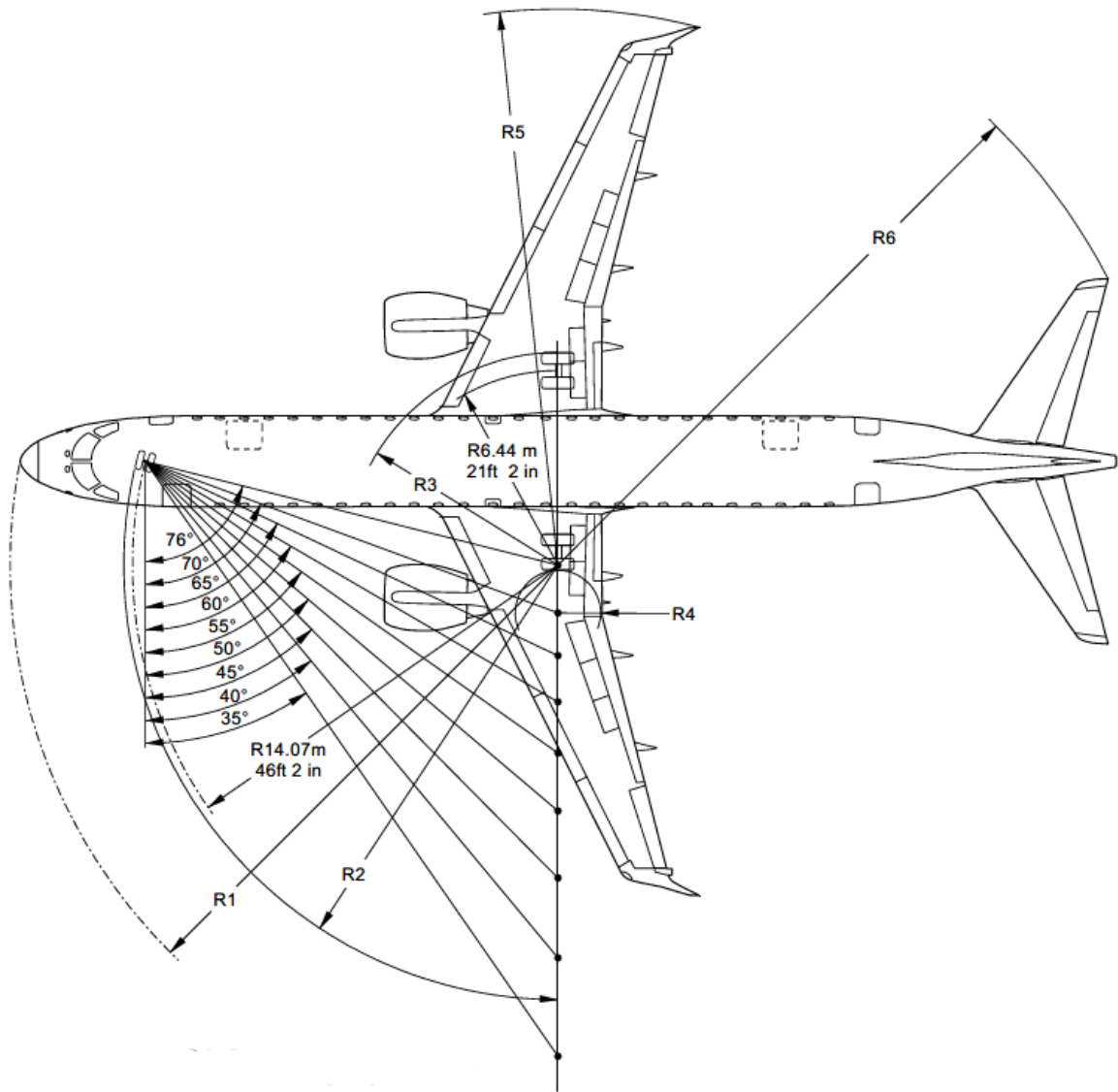


Figura 2.16 . Radios de giro, sin ángulo de desplazamiento (E190) [17].

En la Tabla 2.4 se muestra el resultado de los radios de giro sin ángulo de desplazamiento para el E190. Los ángulos de giro se evalúan con un ángulo de 35° a 76° .

Tabla 2.4. Radios de giro, sin ángulo de desplazamiento (E190) (Autoría propia, recuperado de [17]).

Dirección de giro (Grados)	Nariz		Tren delantero		Engranaje externo		Engranaje interno		Ala derecha		Punta trasera derecha	
	R1		R2		R3		R4		R5		R6	
35	26.53 m	87 ft	24.16 m	79 ft 3 in	23.28 m	76 ft 5 in	16.08 m	52 ft 9 in	34.35 m	112 ft 8 in	31.50 m	103 ft 4 in
40	24.21 m	79 ft 5 in	21.58 m	70 ft 10 in	20.03 m	65 ft 9 in	12.82 m	42 ft 1 in	31.13 m	102 ft 2 in	28.91 m	94 ft 10 in
45	22.50 m	73 ft 10 in	19.64 m	64 ft 5 in	17.38 m	57 ft	10.18 m	35 ft 5 in	28.52 m	93 ft 7 in	26.90 m	88 ft 3 in
50	21.22 m	69 ft 7 in	18.14 m	59 ft 6 in	15.17 m	49 ft 9 in	7.96 m	26 ft 1 in	26.33 m	86 ft 5 in	25.32 m	83 ft 1 in
55	20.24 m	66 ft 5 in	16.98 m	55 ft 9 in	13.25 m	43 ft 6 in	6.05 m	19 ft 10 in	24.45 m	80 ft 3 in	24.02 m	78 ft 10 in
60	19.49 m	63 ft 11 in	16.07 m	52 ft 9 in	11.56 m	37 ft 11 in	4.35 m	14 ft 3 in	22.79 m	74 ft 9 in	22.95 m	75 ft 4 in
65	18.91 m	63 ft	15.36 m	50 ft 5 in	10.03 m	32 ft 11 in	2.82 m	9 ft 3 in	21.30 m	69 ft 10 in	22.05 m	72 ft 4 in
70	18.48 m	60 ft 8 in	14.82 m	48 ft 7 in	8.62 m	28 ft 3 in	1.41 m	4 ft 8 in	19.93 m	65 ft 5 in	21.29 m	69 ft 10 in
75	18.12 m	59 ft 5 in	14.36 m	47 ft 1 in	7.04 m	23 ft 1 in	0.17 m	7 in	18.39 m	60 ft 4 in	20.51 m	67 ft 3 in

En la Figura 2.17 se muestra el mínimo radio de giro que utiliza el ángulo máximo, que para el E190 es de 76°, mostrando en esta figura gráficamente los radios mínimos de giro.

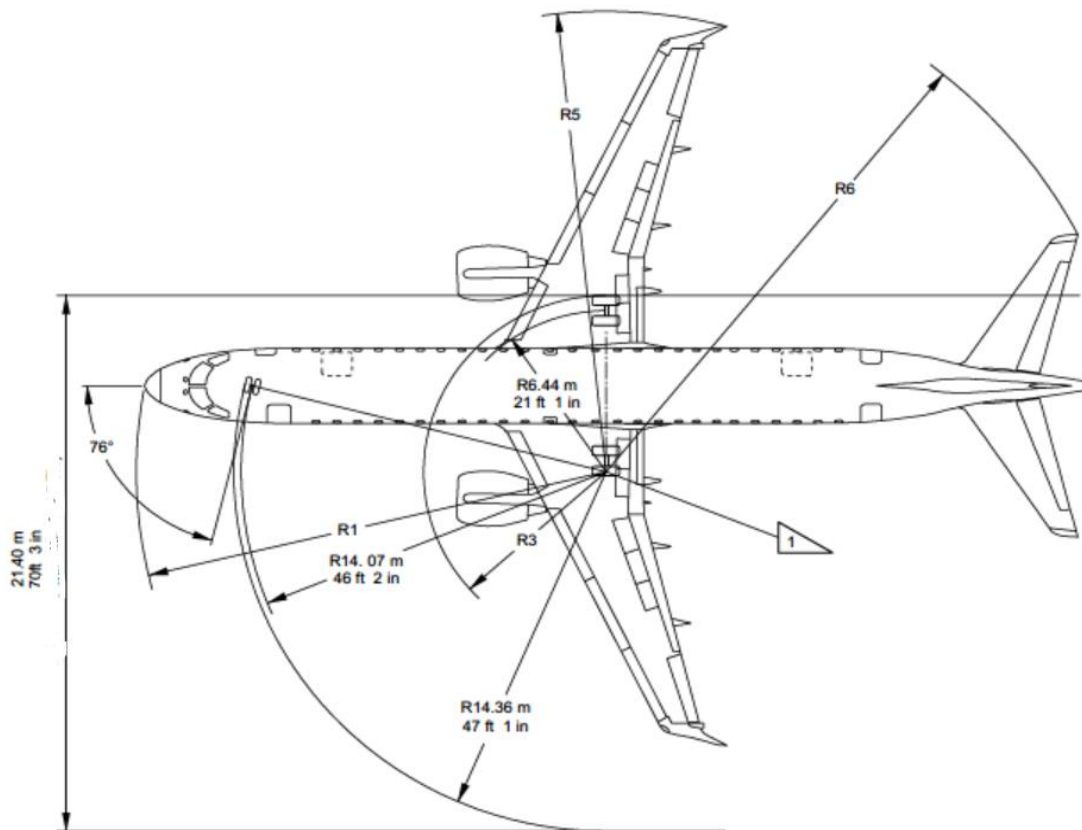


Figura 2.17 Radios de giro, sin ángulo de desplazamiento (E190) [17].

El número y dimensiones de pistas, calles de rodaje y puestos de estacionamiento dependen del volumen de tráfico que tiene el aeropuerto, por lo que la plataforma debe estar diseñada bajo periodos de actividad intensa. Sin embargo por otro lado se encuentra la distancia entre las aeronaves, por lo que estas distancias se definen de acuerdo con la categoría de la aeronave tal como se muestra en la Tabla 2.5 correspondiente a la categoría “D” del aeropuerto le corresponde una distancia libre 7,5 m, la OACI describe que la distancia libre puede reducirse en las categorías D, E y F, entre la terminal y la proa de la aeronave y cualquier parte del puesto de estacionamiento, siempre y cuando las aeronaves que ejecuten la maniobra de entrada de rodaje y la salida sea utilizando el tractor [10][11].

El aeropuerto CJS cuenta con los dos tipos de pavimentos tanto flexible como rígidos, por ejemplo, en la plataforma comercial se tiene de ambos, en donde se ubica la aeronave se conforma de pavimentos rígidos (Concretos) mientras que las distancias libres se conforman de pavimentos flexibles (asfaltos).

Tabla 2.5. Distancias libres (Autoría propia, recuperado de [1]).

<u>Lista de Clave</u>	<u>Distancia libre (m)</u>
A	3.0
B	3.0
C	4.5
D	7.5
E	7.5
F	7.5

2.2.1 Servicios de las aeronaves en tierra

Dentro de los servicios que se brindan a las aeronaves en tierra se pueden seccionar en tres, en pistas, calles de rodaje y plataformas, donde en pistas se realizan servicios para aterrizaje y despegue, en calles de rodaje solo es apoyo con la circulación de un lugar a otro mientras que en plataformas se brindan la mayoría de los servicios como lo son los servicios de cocina, inodoro, abastecimiento de agua potable, manipulación del equipaje, abastecimiento de combustible, de aire acondicionado, oxígeno, suministro de energía eléctrica y aire para el arranque, y

remolque de aeronaves. En la Figura 2.18 se muestra un modelo de la disposición del equipo de servicio en tierra para una aeronave de tamaño mediano [10].

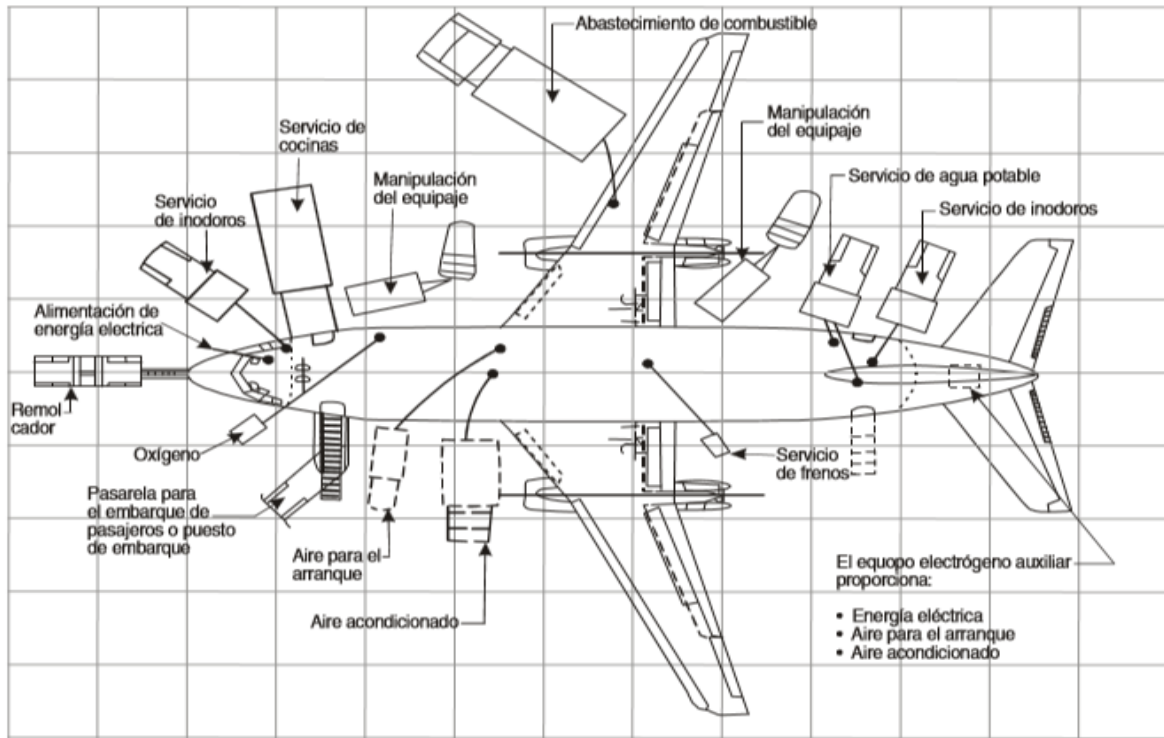


Figura 2.18 Modelo de la disposición del equipo de servicio de tierra [10].

2.3. Pavimentos

Los aeropuertos actualmente cuentan con zonas pavimentadas a base de materiales bituminosos o con cemento, siempre y cuando cumplan con las características de construcción de cada zona, tomando en cuenta el tipo de suelo, las cargas, el clima, las aeronaves críticas, las operaciones, etc. Por lo que el pavimento debe cumplir con las características y así reducir las presiones sobre el terreno [18] [19].

Los pavimentos se clasifican en dos tipos los rígidos y los flexibles, siendo el rígido el que ofrece mayor resistencia a la compresión, mismo que se conoce como concreto, por otro lado, el pavimento flexible se caracteriza por capas de superficies bituminosas sobre capas bases granulares o bien del mismo material bituminosos [18] [19] [20].

Existe una diferencia entre los pavimentos utilizados convencionalmente para carreteras, a los pavimentos utilizados para las pistas ya que la repetición de cargas no es tan importante ya que se cuenta con una distribución de cargas mucho mejor, sin embargo, existirá una repetición de cargas en movimiento lento y cargas estáticas en algunas zonas como lo son calles de rodaje, plataformas y extremos de pista, por ello se conocen como zonas peligrosas, es importante recordar que el desgaste en los pavimentos es mayor cuando los vehículos van a velocidades más bajas [13] [19].

Las características básicas de diseño de los pavimentos en plataformas, calles de rodaje y pistas son las mismas utilizadas en los estacionamientos, caminos de acceso, camino perimetral, etc., sin embargo, cuentan con algunas diferencias [13] [19] [20]:

- El peso de los vehículos.
- La presión de las llantas.
- La repetición de cargas.
- Las concentraciones de las cargas.

→ Las velocidades y condiciones de operación.

Los pavimentos son uno de los elementos más importantes de un aeropuerto ya que su diseño y conservación son determinantes ya que son las vías de rodaje de los aviones y se ven sometidos a esfuerzos muy grandes, considerando aquellos lugares donde el movimiento de las aeronaves es lento y actúan con su carga máxima [13].

Como se mencionó anteriormente existen dos tipos de pavimentos (flexibles y rígidos), por lo que existen un sin número de características que permitan seleccionar cuál de ellos es correcto en cada situación, algunas de esas características son [19] [20]:

- Costo
- Financiamiento
- Seguridad
- Futuras expansiones
- Capacidad del terreno
- Capacidad del aeropuerto
- Características de los materiales de construcción
- Factores climatológicos
- Concentración de cargas
- Frecuencia de operaciones
- Velocidad de los vehículos

- Procedimientos constructivos
- Mantenimientos
- Características del suelo

2.3.1. Pavimentos flexibles

Estos se caracterizan por contar con al menos una capa de material asfáltico, conocido como la mezcla de un agregado pétreo y un aglutinante referente al cemento asfáltico. En la Figura 2.19 se muestra la estructura de pavimento flexible, mostrando cada una de las denominaciones de sus capas [13] [19] [20].

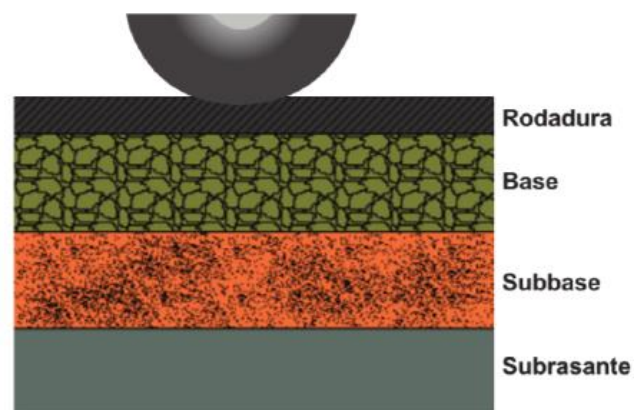


Figura 2.19 Estructura de pavimento flexible (Recuperado de [13]).

- Capa subrasante

Esta es una capa de aproximadamente 30 cm, esta capa debe ser uniforme, buscando siempre la misma densidad de los materiales entre el terreno y las demás capas. Si el terreno cuenta con irregularidades se deberá aplanar el terreno y poner una capa de un material que cumpla con las características

similares a las capas adyacentes. Se utiliza la capa subrasante para evitar los cambios volumétricos excesivos que provocan los suelos expansivos. Para determinar si esta capa es aceptable se hacen ensayos de carga [20].

→ Capa sub-base

El principal objetivo en el tipo de pavimento flexible es soportar las cargas del tránsito de los vehículos y transmitir las al terreno, por lo que su función es la transmisión de cargas entre la capa base y el terreno, ya que la primera capa es de material grueso y esta es de material fino [19] [20].

→ Capa base

Esta capa ayuda a transmitir las cargas antes de entrar a la capa sub-base, con una intensidad adecuada para que la siguiente capa pueda resistirlas, siendo de ayuda esta para poder hacer la carpeta asfáltica con un grosor más pequeño, lo cual ayuda en los costos de la construcción. Esta también funge como drenador de agua que se introduce de la carpeta asfáltica y márgenes [13] [19] [20].

Existen tres tipos de capas bases, la hidráulica o granular, la mezcla asfáltica y base estabilizada con cemento. La base hidráulica utiliza materiales pétreos que sirven de apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, la base de mezcla asfáltica debe resistir la fatiga ocasionada por el tráfico, para evitar las grietas en el fondo de la capa, lo que le ayuda un alto contenido de asfalto evitando vacíos en el

aire, ayudando a la durabilidad y flexibilidad, por último la base estabilizada de cemento se conforma de una mezcla de suelo o agregado pulverizado, cemento y agua, por la hidratación de esta capa ayuda a que sea un pavimento fuerte y durable [19].

→ Carpeta asfáltica o rodadura

Esta capa debe tener una textura y colores adecuados, ya que como su nombre lo dice es el área de la rodadura, ayudando a resistir los efectos del paso de los vehículos al estar en contacto directo con ellos, por otro lado, evita la penetración de agua a las capas inferiores. Al ser la capa visible y en contacto directo a diferentes factores debe cumplir con varios requisitos como las características y frecuencias del tráfico, condiciones del medio ambiente, ergonomía del terreno, un buen diseño, etc. [13] [19] [20].

En esta capa se pueden ver las fallas superficiales del pavimento por lo que se debe mantener en buen estado así evitar la formación de grietas, fricción, etc. Esto se puede evitar con el tipo de mezclas ya que son densas para resistir la deformación.

2.3.2. Pavimentos rígidos

Estos se construyen con una losa de concreto hidráulico, este tipo de pavimentos también se utilizan capas inferiores, en este caso la sub-base y base, constituidas

con cemento, resistiendo esfuerzos de compresión y por su gran rigidez los esfuerzos transmitidos al suelo se distribuyen de la siguiente manera [13] [19] [20]:

- La capacidad de carga que tiene la capa subrasante o, en caso de tener capa subbase, la capacidad de carga resultante de la combinación de ambas [13] [19] [20].
- El tipo de aviones que recibirá el aeropuerto, las cargas que estos aplicarán sobre el pavimento y la frecuencia con la que las aeronaves utilizarán dicha superficie [13] [19] [20].
- Uso que se le dará al pavimento, pues cada una de las zonas tiene necesidades diferentes, es decir, se requiere diseño distinto para calles de rodaje, aeropista, plataformas, etc [13] [19] [20].
- Se utiliza concreto simple para la construcción de este tipo de pavimentos debido a que el uso del acero resulta ser muy costoso e innecesario pues no reduce sustancialmente el espesor de la capa de concreto [13] [19] [20].
- Las juntas que se construyen en las losas de los pavimentos de concreto evitan que las grietas aparezcan en forma desordenada a lo largo y ancho de las mismas. Se cuidan que quede perfectamente sellada e impermeable para evitar la penetración de materias extrañas y las filtraciones de agua que provocan fallas por socavón de la base [13] [19] [20].

→ Cuando las juntas están bien situadas y perfectamente construidas reducen los esfuerzos que se producen en las losas por cambios volumétricos, extracción o expansión del concreto, además facilita la transmisión de cargas de una losa a otra, reduce los alabeos y facilita la contracción, de expansión, de articulación, de construcción etc. [13] [19] [20].

2.3.3. Características del pavimento (ACN/PCN)

El número de clasificación de pavimentos (PCN) indica que una aeronave con número de clasificación de aeronave (ACN) igual o inferior al PCN puede operar sobre estos pavimentos, sujetos a limitaciones con respecto a la presión de los neumáticos, con esto se puede notificar en función a la clasificación del pavimento el tipo de aeronaves que estos pueden soportar sin restricciones. En la Figura 2.20 se muestra el ACN para los efectos con el pavimento [21].

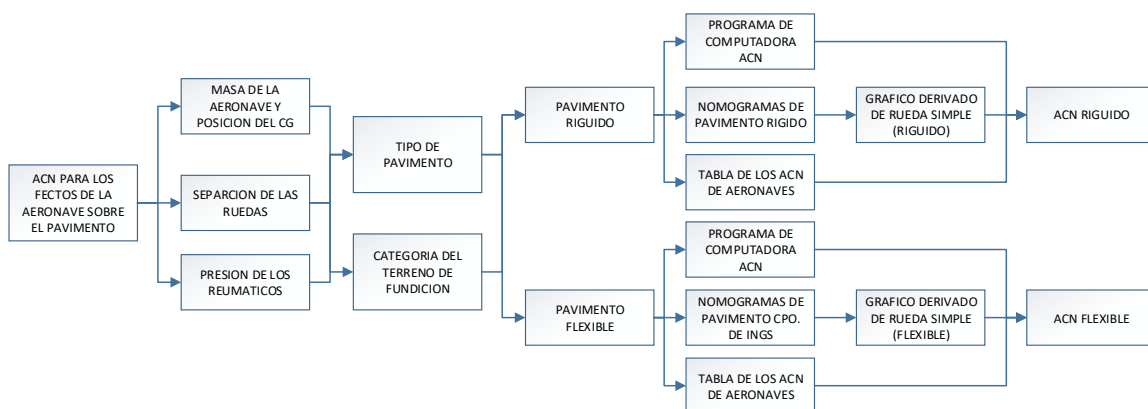


Figura 2.20. ACN para los efectos de la aeronave sobre el pavimento. (Autoría propia, recuperado [21])

En 2018 se realizó un estudio de ACN/PCN en el Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez utilizando la simbología de la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Simbología de ACN/PCN (Autoría propia, recuperado de [22]).

F o R	Tipo de pavimento (Flexible o rígido)
A, B, C, D	categoría de la resistencia de cimentación (Alta, media, baja, ultra baja)
W, X, Y, Z	Presión máxima permisible de Neumáticos (Alta. Media, baja, muy baja)
T o U	base de la deformación (Técnica o Basada en la experiencia adquirida con las aeronaves)

En la Tabla 2.7 se muestran los valores típicos de la resistencia del terreno de cimentación en pavimentos rígidos y flexibles para el método ACN/PCN.

Tabla 2.7. Valores típicos de la resistencia del terreno de cimentación en pavimentos rígidos y flexibles para el método ACN/PCN (Autoría propia, recuperado de [22]).

Código	Categoría	Pavimento rígido	Pavimento flexible
		K (MN/M3)	VRS (%)
A	Alta	Valor típico k=150, comprende los valores de k superiores a 120.	Mayor a 13, típico 15.
B	Media	Valor típico k=80, comprende los valores de k entre 60 y 120.	Valor típico CBR=10, comprende los valores entre 8 y 13.
C	Baja	Valor típico k=40, comprende los valores de k entre 25 y 60.	Valor típico CBR=6, comprende los valores entre 4 y 8.
D	Ultra baja	Valor típico k=20, comprende los valores de k inferiores a 25.	Valor típico CBR=3, comprende los valores inferiores a 4.

En la Tabla 2.8 se muestra la presión de inflado de los neumáticos para obtener con estas tablas el resultado.

Tabla 2.8 Presión de inflado(Autoría propia, recuperado de [22]).

<u>Código</u>	<u>Categoría</u>	<u>psi</u>	<u>MPa</u>
W	Alta	Sin límite	Sin límite
X	Media	146-217	1.01-1.50
Y	Baja	74-145	0.51-1.00
Z	Muy baja	0-73	0-0.50

El estudio se realizó con un equipo HWD (Heavy Weight Deflectometer) y con los datos proporcionados por el Grupo Aeroportuario centro Norte (OMA) se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 2.9, cabe mencionar que en octubre 2021 se recarpeteo rodaje B [22].

- Para la pista 03-21 de 0+000 al 0+120 son: 35cm de concreto hidráulico y 15 cm de base, valor promedio K 211.
- Para la pista 03-21 de 0+120 al 2+580 son: 19cm de carpeta asfáltica y 15 cm de base, VRS de 13%.
- Para la pista 03-21 de 2+580 al 2+700 son: 35cm de concreto hidráulico y 15 cm de base, valor promedio K 211.
- Plataforma de viraje 03 son: 35cm de concreto hidráulico y 15 cm de base; valor promedio K211.
- Plataforma de viraje 21 son 35cm de concreto hidráulico y 15 cm de base; valor promedio k 211.

- Para la pista 15-33 de 0+000 al 0+060 son: 32 cm de concreto hidráulico y 16 cm de base; valor promedio K 206
- Para la pista 15-33 del 0+060 al 1+700 son: 14 cm de carpeta asfáltica y 8.6 de base; VRS de 9%
- Para la pista 15-33 del 1+700 al 1+740 son: 32 cm de concreto hidráulico y 16 cm de base; valor promedio K 206
- Para la plataforma de viraje 14 son: 32 cm de concreto hidráulico y 16 cm de base; valor promedio K 206.
- Para la plataforma de viraje 32 son: 32 cm de concreto hidráulico y 16 cm de base; valor promedio K 206.
- Para el rodaje alfa son: 8.0 cm de carpeta asfáltica y 7.0 cm de base; VRS 9%.
- Para el rodaje bravo son 11.5 cm de carpeta asfáltica y 28.5 cm de base; VRS 18%.
- Para rodaje Charlie son: 15.5 cm de carpeta asfáltica y 31.5 cm de base; VRS 18%.
- Para plataforma de aviación comercial zona concreto hidráulico son: 30 cm concreto hidráulico y 22.5 cm de base; valor promedio K270
- Para la plataforma de aviación comercial zona concreto asfáltico son 12 cm de carpeta asfáltica y 38 cm de base; VRS 8.5%
- Dado de atraque posición 3 son: 30 cm de concreto hidráulico y 20 cm de base; VRS 8.5%.
- Dado de atraque posición 4 son: 30 cm de concreto hidráulico y 20 cm de base; VRS 8.5%.

- Para la plataforma de aviación general son: 8 cm de carpeta asfáltica y 14 cm de base; VRS de 12%.
- Para la plataforma de carga son 10 cm de carpeta asfáltica y 30 cm de base; VRS de 12%.

Tabla 2.9 Valor de PCN (Autoría propia, recuperado de [22]).

<u>Sección</u>	<u>PCN</u>
Pista 03-21 0+000 al 0+120	PCN=65/R/A/X/T
Pista 03-21 0+120 al 2+580	PCN=86/F/B/X/T
Pista 03-21 2+580 al 2 +700	PCN=82/R/A/X/T
Plataforma de viraje 03	PCN=64/R/A/X/T
Plataforma de viraje 21	PCN=63/R/A/X/T
Pista 15-33 0+000 al 0+060	PCN=14/R/A/X/T
Pista 15-33 0+060 al 1+700	PCN=48/F/B/X/T
Pista 15-33 1+700 al 1+740	PCN=17/R/A/X/T
Plataforma de viraje 14	PCN=14/R/A/X/T
Plataforma de viraje 32	PCN=15/R/A/X/T
Rodaje Alfa	PCN=44/F/B/X/T
Rodaje Bravo	PCN=31/F/A/X/T
Rodaje Charlie	PCN=36/F/A/X/T
Plataforma de aviación comercial zona de concreto hidráulico	PCN=76/R/A/X/T
Plataforma de aviación comercial zona de concreto asfáltico	PCN=39/F/B/X/T
Dado de atraque posición 3	PCN=100/R/A/X/T
Dado de atraque posición 4	PCN=100/R/A/X/T
Plataforma de aviación general	PCN=24/F/B/X/T
Plataforma de carga	PCN=67/F/B/X/T

Donde:

- R= Tipo de pavimento rígido;
- A= Categoría de la resistencia de la cimentación alta;
- B= Categoría de la resistencia de la cimentación media;
- X= Presión máxima permisible de neumáticos media;
- T= Base de la determinación técnica.

En la Tabla 2.10 se tiene los valores de ACN de las aeronaves que utiliza el Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez, aclarando que se refiere a la capacidad estructural del pavimento no a dimensiones del elemento.

Tabla 2.10 Valor ACN (Autoría propia, recuperado de [22]).

<u>Aeronave</u>	<u>Pavimento flexible</u>		<u>Pavimento rígido</u>	
	<u>Categoría de subrasante</u>		<u>Categoría de subrasante</u>	
	<u>B</u>		<u>B</u>	
	<u>ACN para peso máximo</u>	<u>ACN para operación en vacío</u>	<u>ACN para peso máximo</u>	<u>ACN para operación en vacío</u>
ATR 42	10	5	11	6
EMBRAER ERJ-145	13	6	15	7
FOKKER 100	27	13	29	14
B-757-200	32	14	32	14
B-737-500	33	15	38	17
B-737-300	33	16	39	18
A-319-100 AT-68T	36	19	40	22
B-767-200	40	19	38	17
A 320-200 Dual	40	19	46	22
B-727-200 (Estándar)	42	23	48	26
DC-10-30/40b	59	23	64	23

2.4. Tipos de fallas (Condiciones que presenta el pavimento que no cumplen el propósito para el que fue diseñado)

Las fallas que pueden presentarse en los pavimentos flexibles se clasifican en cuatro grupos (Tabla 2.11).

Tabla 2.11. Clasificación de fallas en pavimentos flexibles (Autoría propia).

<u>Fisuramiento (Cracking).</u>	<u>Desintegración</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras longitudinales y transversales; • Fisuras en bloque; • Fisuras de reflexión; • Piel de cocodrilo; • Fisura por deslizamiento de rodadura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desmoronamiento; • Envejecimiento o desgaste; • Baches; • Decapado de pavimento; • Quemadura de asfalto; • Parches.
<u>Distorsión</u>	<u>Pérdida de resistencia al deslizamiento</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Surcos; • Corrugación; • Escalonamiento entre pavimentos rígidos y flexibles; • Hundimientos; • Hinchamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Áridos pulidos; • Contaminantes; • Exudación; • Derrame de combustible/aceite.

Por otro lado, las fallas que pueden presentarse en los pavimentos rígidos se clasifican en cinco grupos (Tabla 2.12).

Tabla 2.12 Clasificación de pavimentos rígidos (Autoría propia).

<u>Fisuramiento</u>	<u>Daños del sello de la junta</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras longitudinales, transversales y diagonales; • Rotura de esquina; • Fisuramiento de durabilidad; • Fisuramiento por contracción; • Losa rota. 	<ul style="list-style-type: none"> • Empalmes; • Desprendimiento; • Parches.
<u>Desintegración</u>	<u>Distorsión</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Descascaramiento; • Reactividad; • Descorche de juntas; • Descorche de esquinas; • Estallidos de compresión; • Desprendimientos; • Parcheo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bombeo; • Escalonamiento.
<u>Perdida de resistencia al desplazamiento</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • Agregados o áridos pulidos; • Contaminantes. 	

Cada una de las fallas se presenta por distintos factores entre los que se encuentran:

- Factores humanos
- Factores físico-estructurales
- Factores ambientales
- Factores del terreno

Es importante atender estos factores ya que las consecuencias son catastróficas en dado caso que se agraven y no se atiendan, puede llegar a ocasionar un accidente, por ejemplo, el desprendimiento de material puede ocasionar un FOD (Objeto extraño) mismo que puede ser absorbido por las turbinas de las aeronaves o bien pueden dañar el tren de aterrizaje, entre otros accidentes o incidentes. De la Tabla 2.13 a la Tabla 2.28 se muestran las fallas y sus características presentes en pavimentos flexibles según el ASTM D 5340 [23]

Tabla 2.13 Características de la piel de cocodrilo en pavimento flexible (Según la Norma ASTM D 5340)




Piel de cocodrilo			
Causa	Carga repetida de tráfico, es el área por donde circula el tren de la aeronave. Comienza debajo de la base estabilizada donde se producen altas tensiones y deformación.		
Tipo de severidad			Impacto
Bajo	Grietas muy finas longitudinales que corren paralelas unas con otras y ninguna o pocas grietas de interconexión. No hay desprendimiento de material.		Es un deterioro estructural mayor. Nivel de severidad alto puede causar un peligro potencial FOD
Mediano	Las grietas forman un patrón o red con un ligero grado de desprendimiento. Patrón bien definido de las grietas (Buena fijación de agregados).		
Alto	Las redes de fisuras han crecido y se encuentra bien definidas incluso con desprendimiento de material.		

Tabla 2.14 Características de exudación en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)


Exudación			
Causa	Película de materia bituminosa en la superficie del pavimento hace que la superficie se ve brillante, en la que se puede producir un reflejo, tornándose pegajoso. Es causado por una excesiva cantidad de cemento asfáltico o alquitrán en la mezcla durante temperaturas elevadas.		
Tipo de severidad			Impacto
No hay niveles de severidad	Se mide en pies o metros cuadrados del área de la superficie		Es un proceso no reversible durante climas fríos, el asfalto o alquitrán se acumulan en la superficie.

Tabla 2.15 Características de las fisuras de bloque en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)

Fisuras de bloque		
Causa	Fisuras que dividen el pavimento en piezas aproximadamente rectangulares, causadas generalmente por contracción de asfalto y variaciones de temperatura durante el día.	
Tipo de severidad		Impacto
Bajo	Grietas con poco o ningún desprendimiento de material. Las grietas sin rellenar tienen $\frac{1}{4}$ pulgada de ancho o menos.	Peligro FOD a partir de la severidad media.
Mediano	Grietas selladas o vacías que tienen moderado desprendimiento. Con ancho promedio mayor a $\frac{1}{4}$ in, si se encuentran selladas en condiciones insatisfactorias.	
Alto	Grietas bien definidas con un nivel alto de desprendimiento de material.	

Tabla 2.16 Características de la ondulación en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)

Ondulación		
Causa	Conjunto de valles y picos con poca separación entre ellos, estos son generalmente perpendicular a la dirección del tráfico. Por lo que la acción del tráfico combinada con una superficie o base inestable causan este tipo de fallas.	
Tipo de severidad		Impacto
Bajo	Las ondulaciones son mínimas y no afectan la circulación. La elevación de los picos se encuentra para pistas y rodajes de alta velocidad $< \frac{1}{4}$ in y $< \frac{1}{2}$ in para rodajes y plataforma.	A partir de la severidad media afectan a la calidad de la circulación.
Mediano	Las ondulaciones son notables.	
Alto	Las ondulaciones para pistas y plataformas de alta velocidad mayores $\frac{1}{2}$ in de elevación en los picos, y para rodajes y plataforma mayor a 1 in	

Tabla 2.17 Características de las depresiones en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)




Depresiones			
Causa	Son superficies pavimentadas con elevaciones ligeramente menor que las que la rodean. Se causan por el asentamiento del terreno de fundición, o se producen durante la etapa de construcción.		
Tipo de severidad			Impacto
Bajo	Se ubican por ser áreas manchadas sobre el pavimento.		Las depresiones causan desniveles que cuando se llenan de agua pueden causar el hidro planeo, por lo que se tiene la pérdida de tracción y de control de las aeronaves y/o equipo del aeropuerto. Afecta la calidad de la circulación.
Mediano	La depresión se puede apreciar más fácilmente.		
Alto	Las depresiones son muy fáciles de identificar.		

Tabla 2.18 Características de la erosión por chorro de turbina en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)


Erosión por chorro de turbina			
Causa	Causa áreas oscuras sobre el pavimento, cuando el ligante bituminoso ha sido carbonizado o quemado		
Tipo de severidad			Impacto
No hay niveles de severidad	Se miden en pies o metros cuadrados.		Se considera falla cuando hay pérdida de material o el ligante se haya ablandado.

Tabla 2.19 Características de las fisuras por flexión de juntas en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)




Fisuras por flexión de juntas			
Causa	Son ocasionadas solo en pavimentos asfálticos construidos sobre un pavimento de losas de hormigón. Estas son ocasionadas por el movimiento de las losas de hormigón por debajo de la superficie asfáltica, ante cambios térmicos y de humedad, sin relación a la carga que son sometidos.		
Tipo de severidad		Impacto	
Bajo	Estas fisuras tienen poco o nada de desprendimiento de material y pueden o no estar selladas, si esta no está sellada debe tener un ancho medio de ¼ in o menos, si esta rellena puede ser de cualquier grosor, pero el relleno debe estar en condición satisfactoria		El tráfico de carga puede causar la rotura del asfalto cerca de las fisuras, resultando en desprendimiento de material y un peligro potencial de FOD. Si el pavimento es fragmentado a lo largo de la fisura, ésta se considera desgranada
Mediano	Debe existir alguna de las siguientes condiciones: 1) Las fisuras tienen un desprendimiento de material moderado, pueden ser selladas o no. 2) Las fisuras tienen poco o nada de desprendimiento de material, pero el material de relleno estará de manera insatisfactoria. 3) Las fisuras no están rellenas o lo están ligeramente, pero el ancho de la fisura es mayor a 6.5mm. 4) Fisuras leves cercanas a fisuras por deflexión o en las esquinas formadas por estas.		
Alto	Las fisuras tienen un grado alto de desprendimiento de material, peligro real de FOD. Pueden estar selladas o no y ser de cualquier anchura.		

Tabla 2.20 Características de las fisuras long. y tran. en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)




Fisuras longitudinales y transversales			
Causa	<p>Las fisuras longitudinales son paralelas a la línea central del pavimento. Pueden ser causadas por</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Fallas en las fajas constructivas de pavimentación 2) Contracción de la superficie del asfalto debido a bajas temperaturas o rigidización del asfalto 3) Causada por fisuras debajo de la superficie. <p>Las fisuras transversales se extienden a través de pavimento formando ángulos rectos a la línea central, causadas por los puntos anteriores 2 y 3.</p>		
Tipo de severidad		Impacto	
Bajo	<p>Las fisuras tienen poco o ningún desprendimiento de material, pueden estar selladas o no. Las no selladas tendrán un ancho medio de ¼ in o menos, las selladas pueden ser de cualquier ancho, pero el sellado debe estar en condiciones satisfactorias. El área promedio desmoronada alrededor de las fisuras tiene un ancho menor a ¼ in. (6mm).</p>		
Mediano	<p>Debe existir lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) las fisuras tienen un desprendimiento de material moderado (algún peligro de FOD), pueden ser tanto selladas o no y ser de cualquier ancho. 2) las fisuras tienen poco o ningún desprendimiento de material, pero el material de relleno está en condición insatisfactoria. 3) las fisuras no están selladas o lo están ligeramente, pero el ancho de la fisura es mayor a ¼ in. (6.5 mm) 4) fisuras leves se presentan, en forma aleatoria cercanas a las fisuras principales (L&T) o en las esquinas formadas por estas <p>El área promedio desmoronada alrededor de las fisuras tiene un ancho de ¼ a 1 in (6mm a 25mm)</p>		Desprendimiento de material FOD
Alto	<p>Las fisuras tienen un gran desprendimiento de material (existe real peligro de FOD), puede estar selladas o no y ser de cualquier ancho</p> <p>El área promedio desmoronada alrededor de las fisuras tiene un ancho mayor a 1 in (25mm).</p>		

Tabla 2.21 Características de un derrame de combustible en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)


Deterioro por derrame de combustible		
Causa	Es el deterioro o ablandamiento de la superficie pavimentada causada por un derrame de combustible, aceite o un solvente hidrocarburo.	
Tipo de severidad		Impacto
No hay niveles de severidad	Solo basta indicar que existe derrame de combustible	 Se considera falla cuando hay perdida de material o el litigante se haya ablandado.

Tabla 2.22 Características de baches en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)


Baches		
Causa	Este es considerado un defecto, sin importar si se encuentra en buen estado. Causado por reparaciones en el pavimento.	
Tipo de severidad		Impacto
Bajo	Bache en buenas condiciones y su funcionamiento es satisfactorio.	 A partir de la severidad media puede existir un peligro potencial de FOD y mala circulación de vehículos.
Mediano	El bache este algo deteriorado. Puede existir desprendimiento de material y/o mala calidad de la circulación.	
Alto	El bache se encuentra muy deteriorado y afecta la calidad de circulación de manera significativa y/o tienen alto peligro de FOD. El bache requiere ser remplazado.	

Tabla 2.23 Características de agregados pulidos en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)


Agregados pulidos		
Causa	Este tipo de falla es causado por el tráfico. El agregado pulido está presente cuando una exhaustiva inspección del pavimento revela que la porción de agregados que se presentan sobre el asfalto es muy pequeña, no hay rugosidad o las partículas angulares del agregado pierden su resistencia al deslizamiento (rozamiento).	
Tipo de severidad		Impacto
No hay niveles de severidad	El efecto del pulido sobre el agregado deberá ser claramente identificable en la muestra, condición que se verifica al tocar la superficie del agregado y este se presenta suave al tacto.	 Daño en las llantas

Tabla 2.24 Características de peladura y efecto a la intemperie en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)




Peladura y efecto de la intemperie			
Causa	Se localizan en la superficie del pavimento, causado por el desprendimiento de agregados y pérdida de la capacidad ligante del asfalto.		
Tipo de severidad		Impacto	
Bajo	Los agregados o el ligante ha comenzado a desgastarse, causando poco o ningún peligro potencial FOD, la baja severidad se registra cuando el agregado superficial está expuesto a una profundidad de $\frac{1}{4}$ del diámetro de la piedra.		Los daños causados por un gancho de arrastre, los bordes de una llanta, o un barre nieve son contabilizados como áreas con nivel de severidad alto. Si un tratamiento superficial se está desprendiendo debe ser considerado como peladura. Realizar una inspección para determinar el PCI inmediatamente después de que se haya realizado un tratamiento de tipo superficial no sería relevante, debido a que dicho tratamiento enmascara las patologías existentes. Se tiene un peligro potencial FOD.
Mediano	Los agregados y/o el ligante, presentan desgaste, causando algún peligro potencial de FOD. La textura superficial es moderadamente áspera. La severidad media se registra cuando el agregado superficial está expuesto a una profundidad de $\frac{1}{2}$ del diámetro de la piedra.		
Alto	Los agregados y/o el ligante presentan un importante desgaste, causando un alto peligro potencial de FOD. La textura superficial es severamente rugosa y picada o con agregados sueltos (piedras) o asfalto de liga rigidizado triturado y suelto. La alta severidad se registra en áreas donde la capa superior del agregado en el área de medición se ha desprendido a causa de la fricción.		

Tabla 2.25 Características de ahuellamiento en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)



Ahuellamiento			
Causa	El ahuellamiento se produce por la depresión de la superficie del pavimento en la zona de tránsito del tren de la aeronave. El pavimento es levantado a lo largo de los lados donde ocurre el ahuellamiento; sin embargo, en algunas circunstancias el ahuellamiento es notable únicamente luego de las lluvias, cuando las zonas de tránsito del tren de la aeronave quedan llenas de agua. El ahuellamiento puede ser producido por una deformación permanente en alguna capa del pavimento o de la misma subrasante. Es usualmente causada por la consolidación o por el desplazamiento lateral de los materiales debido a la acción de las cargas de tráfico.		
Tipo de severidad			Impacto
Bajo	Profundidad en Pistas y rodajes de alta velocidad de ¼ a ½ in (6 a 13mm)		Mala calidad de la circulación, posibilidad que se presenten fallas mayores.
Mediano	Profundidad en Pistas y rodajes de alta velocidad de ½ a 1 in (13 a 25mm)		
Alto	Profundidad en Pistas y rodajes de alta velocidad de > 1 in (25mm)		

Tabla 2.26 Características de PCC expuesto en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)




PCC expuesto (Empuje del Concreto Asfáltico (AC) por losas de hormigón de cemento Portland (PCC))			
Causa	Los pavimentos de Hormigón de Cemento Portland (PCC), ocasionalmente incrementan su longitud en los extremos donde se juntan con el pavimento asfáltico (comúnmente denominados crecimientos del pavimento). Este crecimiento empuja al pavimento asfáltico generando problemas de engrosamiento y fisuras. El “crecimiento” de las losas de Hormigón es causado por una apertura gradual de las juntas a medida que estas se rellenan con materiales incomprensibles que le evitan cerrarse.		
Tipo de severidad			Impacto
Bajo	Cuando se ha producido un ligero empuje, y no se han producido roturas en el pavimento asfáltico.		Peligro potencial de FOD, mala circulación de vehículos y grietas en pavimento asfáltico
Mediano	Cuando se ha producido un empuje significativo, causando una moderada rugosidad y una pequeña rotura o ninguna en el pavimento de concreto asfáltico		
Alto	Cuando se ha producido un importante empuje, causando un severo desnivel o rotura del pavimento asfáltico.		

Tabla 2.27 Características de fisuras por resbalamiento en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)





Fisuras por resbalamiento o deslizamiento			
Causa	Son fisuras con forma de luna creciente o medialuna, tienen dos puntos apuntando en la dirección del tráfico. Ellas son producidas cuando las ruedas frenan o giran causando un deslizamiento y deformación en la superficie del pavimento. Esto ocurre usualmente cuando existe una baja resistencia superficial de la mezcla o una deficiente adherencia (ligadura) entre la superficie y la siguiente capa de la estructura del pavimento.		
Tipo de severidad		Impacto	
No hay niveles de severidad	Es suficiente indicar que existen fisuras por deslizamiento.		Peligro potencial de FOD, mala circulación de vehículos y grietas en pavimento asfáltico

Tabla 2.28 Características de hinchamiento en pavimento flexible (Según la norma ASTM D 5340)

Hinchamiento			
Causa	Esta falla se caracteriza por un hinchamiento de la masa en la superficie pavimentada. Un hinchamiento puede ocurrir de forma puntual en un área localizada o en forma de onda gradual en un área mayor. Ambos tipos de hinchamiento pueden estar acompañados por una superficie fisurada. Un hinchamiento es usualmente causado por la acción de congelamiento en la subrasante o por hinchamiento de los suelos, pero a veces un pequeño hinchamiento puede ocurrir también sobre la superficie de un recrecimiento asfáltico (sobre un pavimento de hormigón PCC), como resultado de un estallido o reventón en las losas de hormigón (PCC).		
Tipo de severidad		Impacto	
Bajo	El hinchamiento es apenas visible y tiene un efecto despreciable sobre la calidad de la circulación. (El nivel de severidad leve o bajo puede no siempre ser observable, pero su existencia puede ser confirmada al circular con un vehículo sobre el área en estudio. Un aumento de aceleración ocurrirá si el hinchamiento está presente).		Peligro potencial de FOD, mala circulación de vehículos y grietas en pavimento asfáltico.
Mediano	El hinchamiento puede ser observado sin dificultad y tiene un importante efecto sobre la calidad en la circulación sobre la superficie pavimentada.		
Alto	El hinchamiento puede ser fácilmente observado y tiene un efecto severo sobre la calidad en la circulación sobre la superficie pavimentada.		

Por otro lado, se encuentran las fallas y características presentados en pavimentos rígidos que al igual que las anteriores tienen un impacto latente en las operaciones aéreas, estas fallas se muestran de la tabla 2.29 a la 2.43 según la clasificación del ASTM D 5340.

Tabla 2.29 Características de estallidos en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)

Estallidos			
Causa	Los estallidos ocurren generalmente en climas cálidos, usualmente en correspondencia con juntas o fisuras transversales que no son lo suficientemente anchas para permitir la expansión de las losas de hormigón.		
Tipo de severidad		Impacto	
Bajo	El nivel de deterioro en el pavimento no lo hace inoperable y la cantidad de rugosidad es leve.		Es te tipo de patologías suele repararse inmediatamente debido a su alta potencialidad de daño severo que tiene para con las aeronaves.
Mediano	El nivel de deterioro en el pavimento no lo hace inoperable, pero existe una significativa rugosidad.		Para que el pavimento se considere operacional, todo material extraño, provocado por estallidos debe haber sido removido.
Alto	El pavimento es inoperable.		

Tabla 2.30 Características de rotura de esquina en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)




Rotura de esquina			
Causa	Las roturas de esquinas es una fisura que intercepta las juntas a una distancia menor o igual que la mitad de la longitud de la losa a cada lado, medida desde la esquina de la losa. Las roturas de esquinas son causadas por repetición de cargas, combinadas con la pérdida del soporte y tensiones por alabeo.		
Tipo de severidad			Impacto
Bajo	La fisura tiene leves desprendimientos (no hay peligro potencial de FOD). Si la fisura está abierta, su espesor medio es menor a aproximadamente 1/8" (3 mm). La fisura puede ser de cualquier espesor si está debidamente rellenada con un sellador en buenas condiciones. El área entre la rotura de esquina y las juntas no está fisurada.		
Mediano	Se presenta alguna de las siguientes condiciones: 1) La fisura sellada o abierta presenta desprendimientos moderados (potencial moderado de FOD). 2) Una fisura no rellenada presenta un ancho que varía entre 1/8" y 1" (3 a 25 mm) 3) Una fisura rellenada presenta desprendimientos leves o no tiene desprendimientos, pero tiene el material de relleno en malas condiciones. El área entre la rotura de esquina y las juntas se encuentra levemente fisurada. Levemente fisurada quiere decir que una fisura de severidad baja divide el área en dos piezas.		Peligro potencial FOD y/o daño potencial a las llantas de los vehículos
Alto	Se presenta alguna de las siguientes condiciones: 1) Fisura rellenada o abierta presenta serios desprendimientos y es definitivamente un FOD potencial. 2) Una fisura sin relleno tiene un ancho medio mayor a 1" (25 mm), creando un daño potencial para las llantas; El área entre la rotura de esquina y las juntas esta severamente fisurada.		

Tabla 2.31 Características de fisuras longitudinales, transversales y diagonales en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340).




Fisuras longitudinales, transversales y diagonales			
Causa	Estas fisuras, las cuales dividen la losa en dos o tres partes, son generadas generalmente por las solicitaciones producidas por la expansión y retracción o arqueamiento del pavimento.		
Tipo de severidad			Impacto
Bajo	La fisura tiene leves desprendimientos por lo que no hay peligro potencial de FOD. Si la fisura está abierta, su espesor medio es menor a 1/8" (3 mm). La fisura puede ser de cualquier espesor si está debidamente sellado con un sellador en buenas condiciones. La losa queda dividida en tres piezas con fisuras de baja severidad.		Peligro potencial FOD y/o daño potencial a las llantas de los vehículos.
Mediano	Se presenta alguna de las siguientes condiciones: 1) la fisura sellada o abierta presenta desprendimientos moderados (potencial moderado de FOD); 2) una fisura no rellenada presenta un ancho que varía entre 1/8" y 1" (3 a 25 mm); 3) una fisura rellenada que presenta desprendimientos leves o no tiene desprendimientos, pero tiene el material de relleno en malas condiciones; 4) La losa está dividida en tres piezas por dos o más fisuras, por lo menos una de las cuales es de media severidad.		
Alto	Se presenta alguna de las siguientes condiciones: 1) fisura rellenada o abierta presenta serios desprendimientos y es definitivamente un peligro potencial de FOD; 2) una fisura sin relleno tiene un ancho medio mayor a 1" (25 mm), creando un daño potencial para las llantas; 3) la losa está dividida en tres piezas por dos o más fisuras, por lo menos una de las cuales es de alta severidad.		

Tabla 2.32 Características de fisura de durabilidad D en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340).


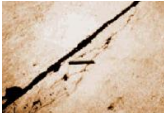

Fisura de durabilidad D			
Causa	La fisura “D” usualmente aparece como un patrón de fisuras en proximidad o paralela a una junta o a una fisura lineal. Está causada por la incapacidad del hormigón de soportar factores ambientales como los ciclos congelamiento y deshielo. Generalmente puede observarse un oscurecimiento de la zona alrededor de las fisuras finas de durabilidad. Este tipo de fisuración puede llevar eventualmente a la desintegración del hormigón a una distancia de 1 a 2 pies (300 a 600 mm) de la junta o la fisura.		
Tipo de severidad			Impacto
Bajo	Se caracteriza por fisuras superficiales localizadas en una o dos esquinas o a lo largo de una junta. El nivel de desintegración es bajo o nulo. No se presentar peligro de FOD.		Peligro potencial de FOD y/o daño potencial a las llantas de los vehículos.
Mediano	Las fisuras superficiales se han propagado en un área importante de la losa con un nivel de desintegración bajo o nulo; o las fisuras han ocurrido en un área limitada de la losa, como, por ejemplo, en una o dos esquinas o a lo largo de una junta, pero con desintegración o desprendimientos superficiales. Presenta un riesgo de FOD.		
Alto	Las fisuras se han propagado en un área considerable de la losa con desintegración del pavimento y riesgo de FOD.		

Tabla 2.33 Características de daño de sellado de juntas en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)




Daño de sellado de juntas			
Causa	El daño en el sellado de juntas es todo aquel que permite que partículas de suelo o rocas se acumulen en las juntas o que permita la infiltración del agua. La acumulación de materiales incompresibles no permite que las losas se expandan y puede llevar al alabeo, fragmentación o desprendimiento de material. La infiltración del agua a través del daño en el sellado de juntas puede causar ablandamiento y deterioro de la subbase, lo cual puede ser prevenido mediante la incorporación de selladores flexibles vinculados a los bordes de las losas		
Tipo de severidad		Impacto	
Bajo	El sellador se encuentra, de manera general, en buenas condiciones y los daños anteriormente mencionados se han manifestado levemente. El material sigue en contacto con los bordes del hormigón a pesar de ya no estar adherido a los mismos. Esta condición es característica si se puede introducir la hoja de un cuchillo entre el sellador y el borde del hormigón sin mucha resistencia.		
Mediano	El sellador de juntas se encuentra en condiciones regulares con alguno de los daños mencionados anteriormente en forma moderada. El sellador requiere ser reemplazado dentro los próximos dos años. Se identifica cualquiera de las siguientes condiciones: 1) El sellador se encuentra en su lugar, pero permite el paso del agua por aberturas de no más de 3 mm de ancho. Si la hoja de un cuchillo no se puede introducir fácilmente entre el sellador y el borde hormigón esta situación no existe 2) El bombeo de desperdicios es evidente en la junta 3) El sellador esta oxidado y agotado pero flexible, y generalmente llena la junta 4) La vegetación en la junta es visible pero no oscurece la junta.		Peligro potencial de FOD y/o daño potencial a las llantas de los vehículos
Alto	El sellador de junta se encuentra en condiciones pobres en toda la muestra inspeccionada con uno o más de los daños ocurriendo en un grado severo. El sellador debe ser reemplazado inmediatamente. El daño en el sellador de las juntas es severo si más del 10% excede el criterio límite establecido líneas arriba o si más del 10% del sellador se ha perdido.		

Tabla 2.34 Características de bacheos menores en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)



Bacheos menores (menos de 0.5 m²)			
Causa	Área del pavimento que ha sido remplazada por material de relleno.		
Tipo de severidad			Impacto
Bajo	El bacheo funciona adecuadamente o con leve deterioro.		Peligro potencial de FOD y/o daño potencial a las llantas de los vehículos, mala calidad de circulación.
Mediano	El bacheo tiene desprendimiento o deterioro moderado, o ambos, en sus bordes		
Alto	Bacheo deteriorado por desprendimiento en sus bordes o fisuración en su superficie que hacen necesario su reemplazo.		

Tabla 2.35 Características bacheos mayores en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)




Bacheos mayores (más de 0.5 m²) y cortes para instalaciones			
Causa	Es la misma que para bacheos menores. Un corte para las instalaciones se refiere al material utilizado para rellenar el área en el que se ha removido el pavimento original por haber colocado una instalación subterránea.		
Tipo de severidad			Impacto
Bajo	El bacheo funciona adecuadamente o con leve deterioro.		Peligro potencial de FOD y/o daño potencial a las llantas de los vehículos, mala calidad de circulación.
Mediano	El bacheo tiene desprendimiento o deterioro moderado, o ambos, en sus bordes.		
Alto	Bacheo deteriorado por desprendimiento en sus bordes o fisuración en su superficie que hacen necesario su reemplazo.		

Tabla 2.36 Características de pérdida repentina en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)


Perdidas repentinas (Popouts)			
Causa	Se manifiesta por una pequeña pieza del pavimento que se desprende a causa de los ciclos de hielo y deshielo en combinación con agregados expansivos. Las pérdidas repentinas varían aproximadamente entre 25 y 100 mm en diámetro y entre 13 y 51 mm en profundidad.		
Tipo de severidad			Impacto
No hay niveles de severidad	Su densidad debe alcanzar un mínimo de tres por metro cuadrado en toda el área de la losa antes de ser consideradas como una patología.		Peligro potencial de FOD y/o daño potencial a las llantas de los vehículos, mala calidad de circulación.

Tabla 2.37 Características de bombeo en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)


Bombeo			
Causa	Expulsión de agua y material del subsuelo (o la subbase) a través de juntas o fisuras del pavimento, causada por la deflexión de la losa al recibir la carga del tráfico de las aeronaves. Manchas en la superficie y la presencia de material de la subbase o del subsuelo próximos a las juntas del pavimento son evidencia del bombeo.		
Tipo de severidad			Impacto
No hay niveles de severidad	Es suficiente el definir la presencia del bombeo		Peligro potencial de FOD y/o daño potencial a las llantas de los vehículos

Tabla 2.38. Características de desprendimiento superficial, mapa de fisuras, fisuras erráticas en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)

Desprendimiento superficial, mapa de fisuras, fisuras erráticas			
Causa	Red de fisuras poco profundas que se extienden solo a través de la superficie superior del hormigón. a causa de la presencia de sales para deshielo, una construcción mal ejecutada, por ciclos de congelamiento y deshielo, o por un agregado de mala calidad.		
Tipo de severidad			Impacto
Bajo	se manifiestan en un área significativa de la losa. No existe desprendimiento superficial y el pavimento se encuentra en buenas condiciones.		Peligro potencial de FOD y/o daño potencial a las llantas de los vehículos
Mediano	Losa con desprendimiento superficial en aproximadamente 5% de su superficie y con posible riesgo de FOD.		
Alto	Losa con desprendimiento superficial en más del 5% de su superficie y riesgo evidente de FOD.		

Tabla 2.39 Características de fisuras por contracción en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)

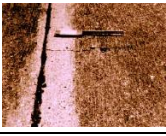
Fisuras por contracción			
Causa	Son normalmente delgadas y se extienden algunos centímetros, no en la longitud total de la losa. Se forman durante el acabado y curado del hormigón y no se extienden a través del espesor total de la losa.		
Tipo de severidad			Impacto
No hay niveles de severidad	Es suficiente identificar su presencia		Mala calidad de la circulación y/o daño potencial a las llantas de los vehículos.

Tabla 2.40 Características asentamiento o fallas en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)

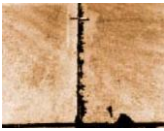


Asentamientos o fallas			
Causa	Los asentamientos o fallas son diferencias de elevación en correspondencia con una junta o una fisura causados por un desplazamiento relativo (levantamiento) de la losa o consolidación no uniforme del material de la subbase o del subsuelo.		
Tipo de severidad			Impacto
Bajo	Diferencia de elevación para pistas y calle de rodaje < 1/4" (< 6 mm) y para plataformas de 1/8" - 1/2" (3 a 13 mm).		Mala calidad de la circulación y/o daño potencial a las llantas de los vehículos.
Mediano	Diferencia de elevación para pistas y calle de rodaje 1/4" - 1/2" (6 a 13 mm) y para plataformas de 1/2" - 1" (13 a 25 mm).		
Alto	Diferencia de elevación para pistas y calle de rodaje > 1/2" (> 13 mm) y para plataformas de > 1" (> 25 mm).		

Tabla 2.41 Características de losa cuarteada en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)




Losa cuarteada			
Causa	Una losa cuarteada se define como aquella en la que las fisuras que se interceptan la dividen en cuatro o más piezas. Esto se debe a un exceso de cargas y/o un soporte inadecuado de la fundación		
Tipo de severidad			Impacto
Bajo	La losa está dividida en cuatro o cinco piezas predominantemente definidas por fisuras de baja severidad.		Mala calidad de la circulación y/o daño potencial a las llantas de los vehículos.
Mediano	La losa está dividida en cuatro o cinco piezas por fisuras en las que por lo menos el 15% tiene un grado medio de severidad (no fisuras con grado alto de severidad) o la losa está partida en seis o más piezas con fisuras que en un 85% son de baja severidad.		
Alto	En este nivel de severidad, la losa se define como cuarteada: 1. la losa está dividida en cuatro o cinco piezas siendo algunas o todas las fisuras de alto grado de severidad o 2. la losa está dividida en seis o más piezas con más del 15% de sus fisuras consideradas de media o alta severidad.		

Tabla 2.42 Características de desprendimiento en juntas transversales y longitudinales, en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)







Desprendimiento en Juntas longitudinales y transversales			
Causa	El desprendimiento se produce por esfuerzos excesivos en la junta o por fisuras ocasionadas por la infiltración de materiales incompresibles o por sobrecarga de tráfico. La combinación de un hormigón débil (causado por fatiga) y sobrecarga de tráfico es otra causa del desprendimiento.		
Tipo de severidad		Impacto	
Bajo	<p>Desprendimientos mayores de 0,60m de largo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) el desprendimiento se divide en no más de tres piezas, definidas por fisuras de baja o media severidad; poco a nada de FOD potencial; o 2) Junta dañada; poco o nada de FOD potencial. Desprendimiento menor de 0,60m de largo se fragmenta con poco FOD o existe una potencial rotura de neumático. 		
Mediano	<p>Desprendimientos mayores a 0,60m de largo.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) el desprendimiento se divide en más de tres piezas definidas por fisuras leves o moderadas; 2) el desprendimiento se divide en menos de 3 piezas con una o más fisuras graves con riesgo de FOD. 3) Juntas moderadamente dañadas con cierto FOD potencial. Desprendimientos menores de 0,60m de largo: el desprendimiento se divide en piezas, algunas de estas faltantes, causando así un considerable riesgo de FOD o posible rotura de neumático 		Peligro potencial de FOD y/o una potencial rotura de neumático
Alto	<p>Desprendimiento mayor a 0,60m de largo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) el desprendimiento se divide en más de tres piezas definidos por una o más fisuras de gran severidad con alto riesgo de FOD y con una alta posibilidad de que fragmentos queden dislocados. 2) La junta se encuentra severamente dañada con alto riesgo de FOD 		

Tabla 2.43 Características de desprendimiento de esquinas en pavimentos rígidos (Según la norma ASTM D 5340)

Desprendimiento de esquinas			
Causa	El desprendimiento en la esquina es el resquebrajamiento o el ondulado de la losa a una distancia dentro de aproximadamente los 2 pies (600 mm) desde la esquina. Se diferencia de la rotura de la esquina en que el desprendimiento se extiende con un ángulo para interceptar la junta, mientras que la rotura se extiende verticalmente a través de la losa.		
Tipo de severidad		Impacto	
Bajo	<p>Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) El desprendimiento está dividido en una o dos piezas por fisuras de baja severidad y con poco riesgo de FOD. 2) El desprendimiento está definido por una fisura de media severidad, con poco riesgo de FOD. 		Mala calidad de la circulación y/o daño potencial a las llantas de los vehículos.
Mediano	<p>Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) El desprendimiento está dividido en dos o más piezas por fisuras de severidad media, y algunos fragmentos pueden estar sueltos o ausentes. 2) El desprendimiento está definido por una fisura de severidad alta acompañada de algunas fisuras superficiales. 3) El desprendimiento se ha deteriorado al grado de constituir algo de riesgo de FOD por sus fragmentos sueltos. 		
Alto	<p>Existe una de las siguientes condiciones: (1) el desprendimiento está dividido en dos o más piezas definidas por fisuras de alta severidad con fragmentos sueltos o ausentes; (2) las piezas del desprendimiento han sido desplazadas al punto en que se constituyen en un riesgo de daño a las llantas; o (3) el desprendimiento se ha deteriorado al grado de tener material suelto que implica un elevado riesgo de FOD</p>		

2.5. Normativa

2.5.1. Normativa internacional

La OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) es un organismo conformado y sostenido por el soporte de 193 países, mismos que se involucraron bajo el convenio de Chicago realizado en el año de 1944, ismo que tiene como objetivo organizar y dirigir el transporte aéreo de manera segura. La función de la OACI es la diplomacia e investigación de políticas del transporte antes mencionado, además de actualizar la normativa existente conforme a las necesidades que se vayan presentando. Dentro de la normativa internacional general se puede tener la siguiente [9] [1] [10]:

- Anexo 14, Volumen I: Aeródromos, Diseño y operación de aeródromos: establece las especificaciones mínimas de aeródromo para aeronaves con las características de las que están actualmente en servicio o para otras semejantes que estén en proyecto. Por consiguiente, no se tienen en cuenta las demás medidas de protección que podrían considerarse adecuadas en el caso de aeronaves con mayores exigencias no contiene especificaciones relativas a la planificación general de aeródromos (tales como la separación entre aeródromos adyacentes o la capacidad de los distintos aeródromos) ni las relativas a los efectos en el medio ambiente, los aspectos económicos u otros factores no técnicos que deben considerarse en el desarrollo de un aeródromo donde en el punto 10.2 es el más importante al hacer referencia de los pavimentos [1].

- Manual de diseño de aeródromos, Parte 1- Pistas: plantea características y especificaciones de como diseñar las pistas “en vista de la función vital que desempeñan lo que respecta a la seguridad y eficiencia del aterrizaje y despegue de las aeronaves, al proyectar esas instalaciones y servicios es imprescindible tener en cuenta las características operacionales y físicas de los aviones que habrán de utilizar las pistas, así como consideraciones de ingeniería y de orden económico” [14].
- Manual de diseño de aeródromo, Parte 2- Calles de rodaje, plataforma y apartaderos de espera: Contiene las especificaciones para trabajar bajo un mismo estándar en el diseño de plataformas, las especificaciones de diseño y las dimensiones necesarias para determinar la superficie total de la plataforma. Dispone de apartados sobre la segregación del tránsito aéreo en área de movimientos, para poder tener el mejor flujo de aeronaves y vehículos terrestres. Los capítulos de mayor relevancia en este manual son el capítulo 3 referente a plataforma [10].
- Manual de diseño de aeródromos, Parte 3- Pavimentos: se basa en las características de resistencia de los pavimentos, como lo es el ACN y PCN basado en las características mayores a las que opera el aeródromo [9].
- Manual de certificación de aeródromo: Orientado a establecer un reglamento para la certificación de aeródromos, ajustado a las normas y métodos del Anexo 14 Volumen 1. La reglamentación de este manual se concentra en la

seguridad operacional, regularidad y eficiencia de las operaciones de aeronaves en los aeródromos [8].

- Manual de planificación de aeropuertos Parte 1. Planificación general: Facilita la planificación para ampliar un aeropuerto y/o la construcción de nuevos aeropuertos. Describe el sistema de planificación y preparación a largo plazo de las operaciones aeronáuticas y los factores que intervienen en la planificación general, haciendo referencia a las necesidades de los involucrados competentes [1].

2.5.2. Normativa nacional

A pesar de que la OACI es un organismo internacional, este no tiene prelación sobre necesidades y requisitos nacionales, los países colocan sus propios reglamentos locales y nacionales en base a las características y necesidades del territorio, así que los explotadores de sus servicios aéreos que utilizan tanto el espacio aéreo e infraestructura requieren cumplir con esta normativa.

- Ley de aeropuertos: Publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 22 de diciembre de 1995, su última reforma se publicó por el DOF el 18 de junio del 2018. La presente ley se basa en artículos de orden público que permiten la regulación para la construcción, administración, operación y explotación de un aeródromo civil, que son parte de las vías generales de comunicación, donde uno de los capítulos más relevantes es el capítulo V, correspondiente a infraestructura, otro de los capítulos es el VII que trata

temas de la operación y los servicios, además que se especifican disposiciones generales en el capítulo I para determinar a qué tipo de aeródromo se aplica la ley de aeropuertos, donde el espacio aéreo que se encuentre situado sobre el territorio es vía general de comunicación que es dominio de la nación [12].

- Ley de aviación civil: se publicó en el DOF el 12 de mayo de 1995, la ley se encuentra vigente a la fecha y su última reforma publicada por DOF fue el 18 de junio de 2018.

Esta ley al igual que la ley de aeropuertos es basada en artículos de orden público, sin embargo, en esta ley regula la explotación, el uso o aprovechamiento del espacio aéreo mexicano, basado en prestación y desarrollo de servicios del transporte aéreo. Los capítulos más relevantes de esta ley es el VI y V de servicio de transporte aéreo y operaciones [24].

→ Circular obligatoria CODA R1, Requisitos para regular la construcción, modificación y operación de los aeródromos.

Dicha circular fue publicada en el DOF el día 3 de diciembre del 2001, para este documento se utilizó una edición del 1 de junio del 2007, la cual es la última edición de dicha circular.

Esta circular tiene como objetivo que los concesionarios y permisionarios de los aeródromos realicen las acciones necesarias para las características físicas, instalaciones, equipos y recursos del aeropuerto en el lado aire, las especificaciones establecidas en esta circular pretenden garantizar e incrementar el nivel de seguridad en los aeródromos. El capítulo de mayor

relevancia en esta circular es el capítulo 3 correspondiente a datos sobre aeródromos y capítulo 4 de características físicas [15].

2.5.3. Normativa para pavimentos

Existen documentos de diferentes dependencias y/o organizaciones como el ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales) y SCT (secretaría de Comunicaciones y Transportes) que cuentan con algunas pruebas que se pueden realizar a los pavimentos para garantizar la calidad de estos. En la Tabla 2.44 se muestra un listado de algunas de las normas y pruebas que las instituciones antes mencionadas aportan.

Tabla 2.44 Normas y pruebas para pavimentos (Autoría propia).

<u>Descripción</u>	<u>Norma</u>	<u>Dependencia</u>
Demoliciones y mantenimientos	N CTR CAR 1 02 013	SCT
Índice de condición de pavimentos en aeropuertos (pci)	ASTM D 5340	ASTM
Método de ensayo normalizado para determinar la densidad aparente e índice de huecos a los adheridos	ASTM C 29/C 29M	ASTM
Método de muestreo y pruebas de materiales	N CMT 1 01	SCT
Solidez de los agregados	ASTM C 88	ASTM
Densidad en masa (Peso unitario) e índice de huecos en los agregados	ASTM C29/C29M	ASTM

Densidad, la densidad relativa (Gravedad específica), y la absorción de agregados gruesos.	ASTM C127	ASTM
Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos	ASTM C 136	ASTM
Características de los materiales: Materiales para pavimentos, Materiales pétreos para mezclas asfálticas.	N CMT 4 04	SCT
Características de compactación de suelos en laboratorio (Relaciones humedad-densidad, procedimiento "C")	ASTM D 1557	ASTM
Densidad y contenido de humedad de suelos y mezclas suelo-agregados en campo por métodos nucleares (Poca profundidad)	ASTM D 6938	ASTM
Materiales para subbase	N CMT 4 02 001	SCT
Subbases y bases	N CRT CAR 1 04 002	SCT
Equivalente de arena de materiales pétreos para mezclas asfálticas	M MMP 4 04 004	SCT
Densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de agregados finos	ASTM C 128	ASTM
Muestreo de agregados	ASTM D 75	ASTM
Equivalente de arena de suelos y agregados finos	ASTM D 2419	ASTM
Calidad de agua para concreto hidráulico	N CMT 4 02 003	SCT
Solidez de los agregados	ASTM C 88	ASTM
Muestreo de mezclas de pavimento asfáltico	ASTM D 979	ASTM

Construcción de carpetas asfálticas con mezcla caliente	N CTR CAR 1 04 006	SCT
Método de prueba de viscosidad cinemática de asfaltos	ASTM D 2170	ASTM
Método de prueba de viscosidad dinámica de asfaltos	ASTM D 2171	ASTM
Método de ensayo de penetración	ASTM D5	ASTM

2.6. Estrategias de conservación y reparación

Los aeropuertos deben tener como prioridad la conservación y reparación de todas las superficies para asegurar con ello las operaciones aéreas y con ello las vidas de los involucrados en ellas. Si bien es sabido que el deterioro de los pavimentos por causas no controlables como medio ambiente o bien el uso, no son previstos, por lo que es importante un plan de conservación efectivo y a tiempo ayudaría a controlar este deterioro. Como tal el plan no es capaz de corregir o compensar un diseño deficiente, pero puede minimizar la falla y por ende alargar la vida útil del pavimento.

Por otro lado, la generación de fallas superficiales puede causar fallas en la cimentación de los pavimentos, entre muchos otros, una de las consecuencias que más se trata de evitar son los FOD, ya que causan daños potenciales a la operación, incluso daños difíciles de detectar en una aeronave, lo que la hace insegura de operar.

Los encargados del aeropuerto tienen la responsabilidad de mantener activo el aeropuerto bajo condiciones óptimas, por lo que las inspecciones van dirigidas por personas expertas en el tema, además deben ser supervisadas para que se realicen de manera correcta y todas las áreas sean inspeccionadas, la inspección es propia de cada aeropuerto. Existen diferentes tipos de inspecciones, las inspecciones visuales, que se realizan continuamente, las inspecciones de rutina que varían de 6 a 24 meses y las inspecciones rigurosas que requieren de la obtención de otro tipo de resultados [20].

2.6.1. Materiales y equipo

Dependiendo la severidad de la falla será el material y equipo que se requiera para su conservación, lo que no tiene duda es que se requiere de personal capacitado para la evaluación y reparación. Aproximadamente se requiere de 3 a 6 personas para una reparación mínima, para algo más grande el personal será mayor.

Dentro de los materiales más comunes par reparación y conservación se encuentran los siguientes:

- Mezclas bituminosas en caliente: es una mezcla de aglomerante a un asfáltico y áridos de una calidad adecuada, dichos materiales son mezclados en una planta, y compactados a altas temperaturas. Este tipo de materiales son mayormente usados en pavimentos aeroportuarios nuevos, parches y

revestimientos, los que son utilizados para reparación deben ser de mejor calidad que la del pavimento existente [25] [26].

- Riego de adherencia: o riego imprimación es una leve aplicación de emulsión asfáltica, misma que se coloca en el pavimento existente para crear un vínculo o como su nombre lo dice una adherencia con un material de recrecimiento, como pueden ser las mezclas bituminosas. También son usados en cortes verticales para la realización de un parcheo. Las emulsiones asfálticas se elaboran de diferentes niveles de calidad, por lo que depende de la ocasión la emulsión a utilizar, mismo que se puede ver sus características en la Advisory circular 150/5370-10 [25] [20] [27] [26].
- Material sellante para fisuras y juntas: este material debe cumplir con las Normas ASTM para el tipo de pavimento y servicio para el cual el sellante es utilizado; ASTM D5893: Norma para uso frío, componentes únicos y siliconas con curado químico par pavimentos rígidos; ASTM D6690: norma para aplicaciones calientes, para pavimentos rígidos y flexibles; ASTM D5249: esta norma es para aplicaciones frías y calientes en pavimentos rígidos y flexibles [26].
- Material filler para fisuras: este material se basa en la norma ASTM D5078 para aplicaciones en caliente, ideal para pavimentos rígidos y flexibles [27].
- Hormigón: este tipo de material se usa para reparar fallas solo en pavimentos rígidos, puede usarse igual que el diseño original, sin materiales reactivos

con especificaciones equivalentes. Puede revisarse la Advisory circular 150/5370-10 [25].

- Otros materiales: existen otros materiales que pueden servir como los son las resinas epoxi, algunas mezclas especiales de hormigón, la elección del material debe estar acorde a la aplicación concreta, las condiciones ambientales y el terreno [25] [20] [27] [26].

Por otro lado, el equipo que se implementa para las reparaciones se puede encontrar de muchos tipos y modelos como [26]:

- Sierras eléctricas;
- Martillos neumáticos;
- Molino de pavimento;
- Herramientas de mano (Cinceles, mazos, palas, picos, palancas);
- Caldera de asfalto;
- Compactadoras de placa vibratorios;
- Rodillos vibrantes y no vibrantes;
- Arado de juntas;
- Enrutador de junta;
- Sierra común para fisuras;
- Compresor e aire y chorro de agua;
- Escoba de pavimentos;
- Caldera de calor;

- Olla de derretimiento;
- Agua a alta presión;
- Lanza de aire caliente.

2.6.2. Reparación de fallas específicas

Si bien existen varios métodos que se utilizan en aeropuertos para reparar las fallas, algunos son específicos para cada una de ellas ya que no todas necesitan el mismo trato, teniendo cuidado en todo momento que esta reparación se convierta en un FOD. Lo primero que se debe de hacer es identificar la falla y su severidad, tal como se mostró anteriormente.

Elegir el procedimiento apto para la falla es el siguiente paso, tomando siempre en cuenta que esta reparación no corrige el daño solo previene y retarda su presencia en un futuro. Estas reparaciones deben de hacerse en cuanto se detecte la falla y ser lo más rápido posible para asegurar la seguridad aérea, ya que si se pasa por alto alguna falla mínima en un futuro podría causar grandes consecuencias [13].

Algunas condiciones meteorológicas delimitan las medidas que se pueden tomar para el mantenimiento de pavimentos por deterioro, la rehabilitación de rellenado por juntas es más viable en condiciones frías y secas, mientras que para condiciones calidas y secas el parcheo de baches, sellados y otros tratamientos superficiales son más efectivos. Si se pueden realizar en climas contrarios, sin

embargo, se debe tener cuidado o bien si las reparaciones se hacen temporalmente hasta tener condiciones adecuadas para remplazarlas.

La selección del método dependerá del tipo de pavimento, clima, experiencia, disponibilidad de material y costos. Es necesario profundizar un poco más en cada una de las reparaciones por ello se presentarán algunas de las más comunes detalladamente para pavimentos flexibles [27]:

Reparación por fisuras:

Las fisuras las encontramos de diferentes tamaños y formas, como lo son las longitudinales, transversales, piel de cocodrilo, por flexión, por deslizamiento, en bloque, etc; algunas de estas con un sellado de juntas se pueden corregir propiamente, en la Figura 2.21 se muestra un croquis de una reparación de fisura para pavimento flexible [25].

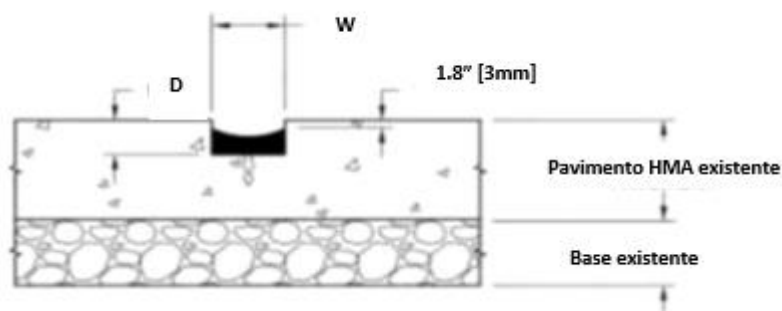


Figura 2.21 Croquis de reparación de fisuras para pavimentos flexibles. (Recuperado de [25]).

- Fisuras por flexión de grietas y por juntas de dilatación: este tipo de sellado utiliza la técnica de puentado, basada en reconstruir la estanqueidad superficial con el apoyo de un mastico de sellado sobre la fisura. El mastico se conforma de una mezcla asfáltica con la materia mineral graduada adecuadamente que sirve para la creación de un sólido impermeable a una temperatura normal, con la fluidez suficiente como para extenderlo a mano (en caliente) [25] [20] [27] [26].

Los materiales que más se utilizan son mezclas de betún con elastómeros de tipo SBS o EPDM, donde se prepara primeramente la fisura limpiando, secando y precalentando, con alguna lanza térmica que lanza un chorro de aire comprimido calentado a altas temperaturas, posteriormente se aplica el producto. Si se tiene una fisura generalizada se implementa membranas anti-remonte entre las cual se encuentra la membrana arena-betún, se colocan entre las capas del pavimento, evitando que se pasen las fisuras a la capa de la rodadura, además de impermeabilización de las capas superficiales [25] [20] [27].

- Fisuración por fatiga: si esta es una fisura de severidad considerable ya que se la capa de la rodadura requiere de un refuerzo estructural, donde se usa alguna mezcla especial como mezclas bituminosas de alto rendimiento, en las capas inferiores para alargar la vida útil del pavimento, esto porque las mezclas bituminosas utilizan una porción grande de betún muy duro, que ayudan a rigidizar la mezcla y darle mejor resistencia a la fatiga [20] [27].

- Fisuras por falta de adherencia: este tipo de fisuras requieren de fresar la zona afectada y reponerla con un riego de adherencia, uno de imprimación y una buena ejecución, se puede realizar a mano si se trata de una zona pequeña, si es una zona de mayor dimensión se requiere de fresadoras, extendedoras, rodillo vibratorio, compactador neumático, barredora, cisterna de riego de imprimación, etc. [25] [20] [27].

Perdida de adherencia Neumático- Pavimento:

Esta falla es dada por que se pierde la textura de la superficie y con ello la resistencia al deslizamiento, mismo que se produce cuando en pavimento no cuenta con las suficientes juntas, se realiza una conservación sencilla o nula, alta resistencia al punzamiento, entre otras. Existen métodos para poder corregirlos como lo son:

- Ranurado de pavimento: método que recomienda la realización de ranuras perpendiculares al sentido de la circulación de los vehículos, estas deben contar con 3 mm de ancho y 3 mm de profundidad separadas por 25 mm, o bien 6 mm ancho y 6 mm profundo separadas por 31 mm, utilizando disco cortadores o sierras. Este no se recomienda para pavimentos viejos. [25] [20] [27]
- Sellado con lechada bituminosa: este tipo de sellado en una mezcla de ligante, árido fino y filler mineral, con agua para ayudar al sellado a fluir. Esta lechada se aplica cuando el pavimento se encuentra limpio de

caucho y pintura, etc. El proceso se basa en extender una capa de rodadura de árido graduado, mezclado in situ en una mezcladora sobre camión común, el árido es mezclado con una emulsión, agentes de adherencia, agua y cemento, en ocasiones se agrega algún polímero [20] [27].

Contaminación por grasas carburantes:

Comúnmente en cabeceras se puede encontrar la presencia de grasas y carburantes, en el cual se puede realizar un tratamiento que consta de una mezcla asfáltica porosa o drenante y relleno posterior con una lechada bituminosa.

Así como existen métodos para las fallas del pavimento flexible también existen para pavimento rígido, algunas de las reparaciones se detallan más a profundidad a continuación.

Reparaciones a espesor parcial:

Este tipo de reparación puede ser apta para desconches en las juntas o bien para las esquinas que no excedan un tercio de la losa. Para estas reparaciones se puede utilizar morteros de varios tipos como lo son de resina epoxi (secado rápido 5 a 6 hrs), acrílicos para espesores pequeños, a base de brea epoxi (son más flexibles que los de resina, pero duran más tiempo en el secado), etc. Para aplicar este material se requiere seguir los pasos siguientes [25] [20] [27] [26]:

- Preparar la zona a reparar delimitando el área. Esta debe formar un triángulo, no se debe tener áreas irregulares;
- Utilizando una cortadora de discos de diamante, para cerrar la zona delimitada anteriormente, a una profundidad de 8 a 10 cm;
- Con un martillo neumático se excava el hormigón quitando todo el material suelto;
- Limpiar la zona, con algún martillo y soplando con compresor para que no quede ningún material;
- Imprimir y se aplica el mortero;
- Cajear y sellar la reparación.

Reparaciones a espesor completo:

Este tipo de reparación a diferencia del anterior se presentan en zonas de grietas que presentan movimientos importantes, que son de severidad alta y pueden considerarse un peligro para la operación. Para llevar a cabo esta reparación se llevan a cabo los siguientes pasos [20] [27] [26]:

- Marcar la zona;
- Se hace un corte vertical con una sierra de disco;
- Se demuele la zona con un martillo hidráulico, para inspeccionar si la base también requiere reparación;
- Se utilizan algunos pasadores de acero en las juntas transversales;
- Colocación de un producto antiadherente sobre la base;

- Se vierte el hormigón sobre el área, cuidando la nivelación y una textura adecuada a base de un cepillo de fibra o metálico;
- Curado con liquido de curado y lamina de polietileno o arpillera húmeda;
- Se cortan las juntas con una cierra y se sellan.

Reparación de grietas:

Se debe conocer el ancho de la grieta para saber si se cosen o se cajean y sellan; por ejemplo, el cosido o grapado de grietas se hace en grietas longitudinales mayores a 2 mm de ancho, separadas de la junta de 1 o 2 m con pasadores. Se puede realizar en corte de surcos chicos perpendiculares a la grieta, colocando las grapas en ella, o bien puede ser por surcos anchos siguiendo la dirección de la grieta [20] [27].

Mientras que el cajeado y sellado de grietas se realiza si estas son de 0.5 y 2 mm utilizando primeramente un cajeado, después se limpia la grieta, para colocar el cordón obturador, aplicando por último el sellado con betún caucho, brea de polietileno o silicona [25] [26].

Renovación del sellado de juntas:

Las juntas se deben substituir ya que al paso del tiempo se endurecen y no dan un buen rendimiento, sellar las juntas evita que el agua se infiltre a las capas inferiores u objetos que impidan la función de las losas. Esta renovación sigue los siguientes pasos [20]:

- Eliminar el sello viejo;
- Limpiar caras inferiores, los bordes y la junta, cada uno con la maquinaria apropiada;
- Colocación del cordón obturador con profundidad de 15 a 20 mm;
- Utilizando brea de poliuretano o silicona se aplica el sellante.

3. METODOLOGÍA

Este capítulo integra los materiales y métodos utilizados en el proyecto, incluyendo los procedimientos de la planificación y administración de todos los componentes. Inicia con la recopilación de información y recursos, hasta la propuesta de solución para el problema, con lo que fue posible obtener resultados y conclusiones. El proyecto se basa en una metodología de tres fases, que se muestran en la Figura 3.1. La primera fase contiene la investigación documental y de campo; la segunda fase incluye la validación de la simulación y la tercera fase describe el proceso para obtención de resultados.

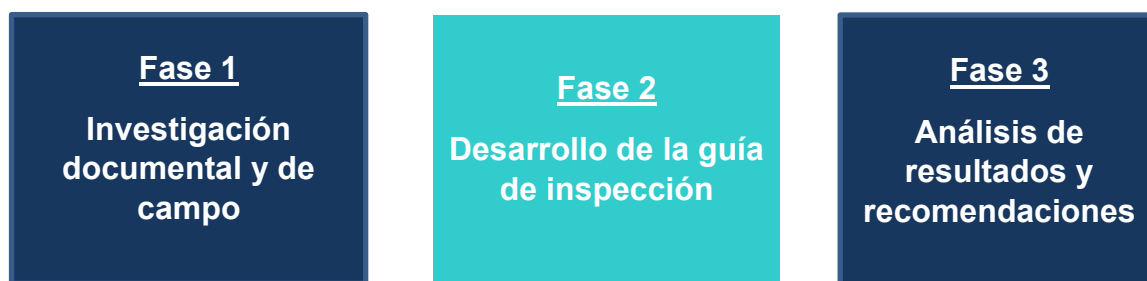


Figura 3.1. Metodología del proyecto

3.1. Fase I. Investigación documental y de campo

El Aeropuerto Internacional Abraham González (Código OACI: MMCS, Código IATA: CJS, Código DGAC: CJS), conocido también como Aeropuerto de Ciudad Juárez, pertenece al Grupo Aeroportuario Centro Norte (OMA). Este aeropuerto se encuentra a 18 Km del centro de la ciudad, con una latitud de $31^{\circ}38'10''$ N, longitud de $106^{\circ}25'43''$ O y una elevación de 1190 msnm. Sirve a la población de Ciudad Juárez y parte de la zona norte de México. Las aerolíneas comerciales que prestan servicio al aeropuerto son Aeroméxico, Interjet, Aerolitoral TAR, VivaAerobus y Volaris, brindando servicios en 2018 a 1,364,028 pasajeros (información otorgada por la SCT).

El proyecto se llevó a cabo dentro del área operacional del Aeropuerto CJS que, al permitir la conectividad con otros destinos, es importante, por lo que resulta necesario mantener activas todas las áreas pavimentadas de dicho aeropuerto, asegurando un mantenimiento pertinente y a tiempo; para alargar su vida útil, ya que de ellos depende la mayor parte de la operación aérea en tierra. Cabe mencionar que el tipo de pavimentos de este aeropuerto son en su mayor parte flexibles, pero cuenta con algunos pavimentos rígidos.

En la fase de campo de esta investigación, se desarrollaron diferentes procedimientos que son la base del proyecto, lo que permiten tener una base sólida para la obtención de resultados. La metodología de esta fase se muestra en la Figura 3.2. En dicha figura se puede observar la parte inicial del proyecto que se basa en la identificación de fallas y el análisis visual de las condiciones actuales del aeropuerto.



Figura 3.2. Metodología Fase I (Autoría propia)

3.1.1. Descripción del problema

Encontrar el problema a resolver es la parte primordial del proyecto, ya que sin un problema no sería necesario realizar el proyecto. En el capítulo I de este documento se presenta la descripción y planteamiento del problema, descrito de manera clara y concreta las necesidades respectivas al mantenimiento de los pavimentos del aeropuerto.

Para cubrir la necesidad de alargar la vida útil de los pavimentos, mediante una atención adecuada y oportuna fue necesario realizar un trabajo de campo,

basado en la observación, identificación y detección de fallas, en las zonas más críticas del aeropuerto como lo son plataformas, calles de rodaje y pista principal.

3.1.2. Antecedentes del aeropuerto

Conocer los antecedentes del aeropuerto CJS nos permite fundamentar la investigación por medio de bases sólidas de lo que ha ocurrido a lo largo de los años, en la Figura 3.3 se muestra una línea del tiempo de los hechos más relevantes del Aeropuerto internacional de Ciudad Juárez.

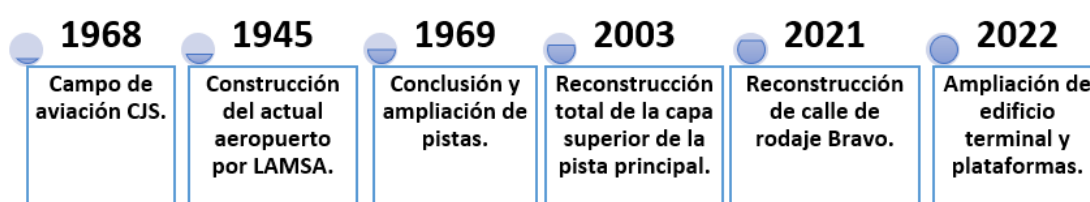


Figura 3.3 Línea del tiempo del Aeropuerto CJS (Autoría propia).

3.1.3. Normativa y reglamentos

La normativa y reglamentación son considerados estándares previamente establecidos, por lo que, para una propuesta metodológica para el mantenimiento de pavimentos se requiere considerar las normativas: internacional, nacional y de pavimentos, tal como se describen en capítulo II. Esto para poder cumplir con la estandarización que se debe tener en pavimentos dentro de un aeropuerto, logrando con ello la homogeneidad en los procesos y que se lleven de manera segura.

La OACI es una organización internacional, considerada la máxima autoridad aeroportuaria del mundo, lo que requiere que cualquier actividad dentro del aeropuerto requiere de su supervisión y aprobación.

3.1.4. Condiciones actuales del Aeropuerto CJS

Determinar las condiciones actuales permitirá tener un panorama más amplio de lo que se tiene, de lo que se hace para mejorar y lo que se puede hacer para tener operativo el aeropuerto.

3.1.4.1. Identificación de fallas actuales

Para la detección oportuna de fallas dentro del Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez se requiere de visitas periódicas para determinar las fallas de mayor impacto operacional, para lo que se necesita lo siguiente:

- Reconocimiento e identificación de las fallas de mayor severidad en las zonas que el aeropuerto permita, como la plataforma comercial, las cabeceras de la pista principal 03-21, algunas zonas de la pista principal y calles de rodaje.
- Recopilación de evidencia como fotografías, recursos y apoyo para el proyecto proporcionado por el aeropuerto, así como conocer la opinión del personal involucrado.
- Detectar los cambios entre visitas, para determinar el trato que se le está dando a las fallas.

→ Observación de las operaciones aéreas dentro del aeropuerto.

3.1.4.2. Cuestionario al personal

Se desarrolló un cuestionario con la plataforma Forms office; que fue dirigido al personal aeroportuario involucrado en el lado aire, con acceso a pavimentos. Se recomienda aplicar al personal encargado de las operaciones, como los oficiales de operación, encargados de las aerolíneas y personal del aeropuerto, las respuestas obtenidas con el cuestionario se reforzaron con entrevistas al personal de rampa. La información es anónima para mantener la confidencialidad del aeropuerto.

Las preguntas del cuestionario se enfocaron en identificar la existencia de un problema, cuyas respuestas se encaminan a desarrollar el método KANO. Las preguntas se plantearon en forma de opción múltiple y abiertas, siendo seis y cuatro respectivamente. Las preguntas abiertas buscan conocer la opinión de los involucrados. El contenido del cuestionario es el mostrado en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Cuestionario y posibles respuestas (Autoría propia).

#	Pregunta	Respuestas				
1	¿Qué tan cómodo te sientes al utilizar los pavimentos del aeropuerto CJS actuales?	Muy cómodo	Cómodo	Indiferente	Incómodo	Muy incómodo
2	¿Qué tan cómodo te sientes al NO utilizar los pavimentos del aeropuerto CJS actuales?	Muy cómodo	Cómodo	Indiferente	Incómodo	Muy incómodo
3	¿Las reparaciones de los pavimentos del aeropuerto son fáciles?	Muy de acuerdo	De acuerdo	Indiferente	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
4	¿Las reparaciones de los pavimentos del aeropuerto son difíciles?	Muy de acuerdo	De acuerdo	Indiferente	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
5	¿Qué tan satisfecho te sientes si se hace mucho mantenimiento a los pavimentos?	Muy satisfecho	Satisfecho	Indiferente	Insatisfecho	Muy insatisfecho
6	¿Qué tan satisfecho te sientes si se hace poco mantenimiento a los pavimentos?	Muy satisfecho	Satisfecho	Indiferente	Insatisfecho	Muy insatisfecho
7	¿Los mantenimientos a los pavimentos ayudan a prevenir fallas?	Abierta				
8	¿Consideras el material implementado en las reparaciones como correcto?	Abierta				
9	¿Qué área del aeropuerto es la que presenta más fallas? por qué crees que se ocasiona?	Abierta				
10	¿Cuál es la falla en pavimentos que más se presenta en el aeropuerto?	Abierta				

3.1.4.3. Método ASTM 5340

Esta metodología sirve para determinar la condición de pavimentos aeroportuarios por medio de inspecciones visuales, utilizando el PCI (Índice de condición de pavimentos) como método de cuantificación normalizado. Existen dos apéndices sobre este método donde se hace referencia al tipo de patología y severidad, uno para pavimentos asfálticos y el otro para pavimentos flexibles. En la Figura 3.5 se muestra la clasificación del PCI.

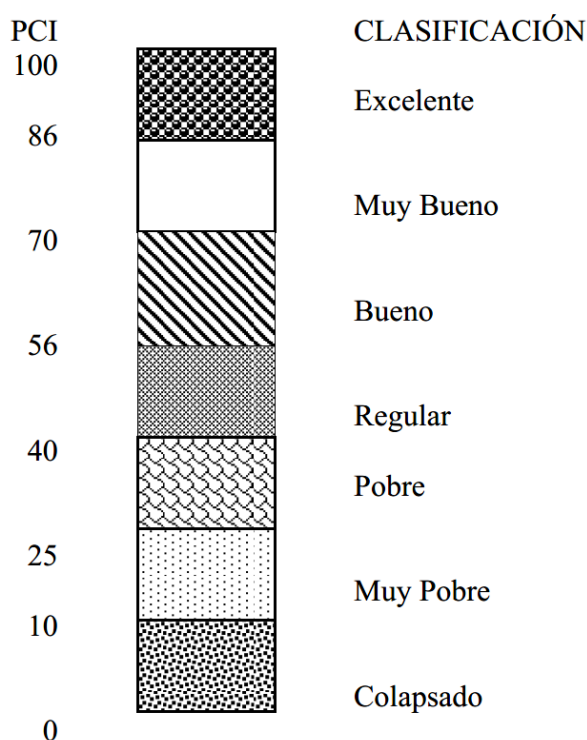


Figura 3.4. Índice de condición del pavimento (PCI) y escala de clasificación (Recuperado de [23]).

El PCI indica las condiciones superficiales del pavimento, que se basa en las fallas observadas en la superficie, este no puede medir la capacidad estructural del pavimento, tampoco el coeficiente de resistencia a la fricción o rugosidad general,

sin embargo, es capaz de determinar una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento.

Se utilizan dos tablas para registrar la información una para pavimento flexible otra para pavimento rígido. (Tablas 3.2 y 3.3).

Tabla 3.2. Ejemplo de hoja de registro de información en inspecciones y condición de pavimentos flexible. (Autoría propia, recuperado de [23]).

PAVIMENTO DE ASFALTO EN AEROPUERTOS										Diagrama:		
HOJA DE INSPECCION DE CONDICIONES												
PARA UNIDAD DE MUESTRA												
Componente:			Sección:			Unidad de muestra:						
Inspeccionado por:			Fecha:			Área de la muestra:						
1. Piel de cocodrilo	5. Depresión	9. Derrame de combust	13. Ahuellamiento									
2. Exudación	6. Erosión por chorro de turbina	10. Bacheos	14. PCC expuesto									
3. Fisura de bloque	7. Reflexión de juntas PCC	11. Agregado pulido	15. Fisuras por deslizamiento									
4. Ondulación	8. Fisuras Long. y transv.	12. Peladura	16. Hinchamiento									
Severidad de falla	Cantidad									Total	% Densidad	Valor de reducción

Tabla 3.3. Ejemplo de hoja de registro de información en inspecciones y condición de pavimentos de hormigón. (Autoría propia, recuperado de [23]).

PAVIMENTO DE HORMIGON EN AEROPUERTOS					
HOJA DE INSPECCION DE CONDICIONES PARA UNIDAD DE MUESTRA					
Componente:		Sección:		Unidad de muestra:	
Inspeccionado por:	LMB	Fecha:	18-ene-92	Área de muestra: 20 losas	
Tipo de falla					
1. Estallidos		9. Bombeo		Diagrama:	
2. Rotura de esquina		10. Desprendimientos, fisuras, erráticas			10
3. Fisuras longitudinales, mapa de fisuras transversales y diagonales		11. Asentamientos			9
4. Fisura de durabilidad (12. Losa fragmentada			8
5. Daño en sello de junta		13. Fisuras por retracción			8
6. Bacheos, 5 pie2		14. Desprendimiento de junta			7
7. Bacheos- corte por ins		15. Desprendimiento en esquina			7
8. Pérdidas repentinas					6
Tipo de falla	Severidad	Número de losas	% Densidad	Valor de Reducción	
				6	
				5	
				4	
				3	
				2	
				1	
				A B C D E	

Es necesario tener la cantidad correcta de unidades de muestra, además de tenerlas bien identificadas para poder ver la evolución de las fallas, para examinar los cambios por el tiempo y las condiciones. El número de unidades de muestra puede variar del tamaño y tipo de inspección; y puede hacerse un análisis de todas las unidades, de no ser posible, entonces se puede hacer un análisis de las muestras que permitan un nivel de confianza del 95%, esto es limitado por la disponibilidad de mano de obra, recursos económicos y tiempo. Para obtener el número mínimo de unidades de muestra inspeccionadas (n) en una determinada

sección y obtener un nivel de confianza del 95% se utiliza la Ecuación 3.1 planteada por [23]:

$$n = \frac{Ns^2}{\left(\frac{e^2}{4}\right)(N-1)} + s^2 \quad (3.1)$$

Donde:

- e = error aceptable en la estimación del PCI de la sección. Comúnmente e = +/- 5 puntos de PCI.
- s = Desviación estándar del PCI entre una unidad de muestra y otra unidad de muestra de la misma sección. Cuando se realiza la inspección inicial la desviación estándar se asume para pavimentos de concreto asfáltico (AC) en 10 y para pavimentos de hormigón de cemento Pórtland (PCC) en 15. Esta suposición debe ser verificada posteriormente como se describe líneas abajo una vez se han determinado los valores del PCI. Para inspecciones posteriores se adopta el valor de desviación estándar de la inspección anterior en la determinación de n.
- N = número total de unidades de muestra en la sección.

Si el valor de nivel de confianza del 95% es crítico se debe calcular la desviación estándar actual de acuerdo con la Ecuación 3.2 planteada por [23]:

$$s = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2\right)/(n - 1)} \quad (3.2)$$

Donde:

- PCI_i = PCI de la unidad de muestra i ;
- PCI_f = PCI promedio de las unidades de muestra analizadas;
- n = número total de unidades de muestra analizadas.

Para un nivel de confiabilidad menor al 95% se puede utilizar la Tabla 3.4, estos valores se usan dependiendo las condiciones y objetivos de la inspección.

Tabla 3.4. Criterio alternativo para determinar el número de unidades de muestra a inspeccionar (Recuperado de [23]).

<u>Dadas</u>	<u>Inspeccionar</u>
1 a 5 unidades de muestras	1 unidad de muestra
6 a 10 unidades de muestras	2 unidades de muestra
11 a 15 unidades de muestras	3 unidades de muestra
16 a 40 unidades de muestras	4 unidades de muestra
Mas de 40 unidades de muestras	10%

Después de tener el número de unidades de muestra a ser inspeccionadas, se calcula el intervalo de espaciamento (i) entre las unidades inspeccionadas, redondeando el numero entero inmediato inferior (ver Ecuación 3-3, planteada por [23]).

$$i = \frac{N}{n} \quad (3.3)$$

Donde:

- N = número total de unidades de muestra en la sección;
- n = número total de unidades de muestra a ser analizadas.

La primera muestra en ser analizada es seleccionada al azar del grupo de muestra 1 hasta i. Las demás unidades de muestra de una sección que se encuentren ubicadas a incrementos j de espaciamiento también deben ser inspeccionadas

La descripción de cada patología se describe en el capítulo II del presente proyecto, tanto para pavimentos asfálticos como para pavimentos flexibles. Así como las fallas para cada tipo de pavimento, cabe señalar que el PCI se determina por secciones y para cada pavimento en particular.

- Cálculo de PCI para pavimentos flexibles (asfálticos): Para describir los pasos se va a utilizar un ejemplo, mismo que se relata en el método 5340 (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Ejemplo de hoja de inspección para pavimento asfáltico (Autoría propia, recuperado de [23]).

PAVIMENTO DE ASFALTO EN AEROPUERTOS										Diagrama:		
HOJA DE INSPECCION DE CONDICIONES												
PARA UNIDAD DE MUESTRA												
Componente:		Sección:			Unidad de muestra:							
Inspeccionado por:		Fecha:			Área de la muestra:							
					5000ft ²							
1. Piel de cocodrilo		5. Depresión			9. Derrame de combust					13. Ahuellamiento		
2. Exudación		6. Erosión por chorro de turbina			10. Bacheos					14. PCC expuesto		
3. Fisura de bloque		7. Reflexión de juntas PCC			11. Agregado pulido					15. Fisuras por deslizamiento		
4. Ondulación		8. Fisuras Long. y transv.			12. Peladura					16. Hinchamiento		
Severidad de falla	Cantidad									Total	% Densidad	Valor de reducción
8B	10	20	15							45	0.90	4.8
8M	9									9	0.18	4.9
1B	50									50	1.00	21.0
13B	200	175								375	7.50	27.0
13M	25									25	0.50	20.0
5B	15									15	0.30	2.0
5M	20									20	0.40	9.0
10B	50									50	1.00	4.0

Pasos:

- I. Realizar la inspección, y anotar el tipo de falla y severidad, posteriormente se agrega la dimensión en donde dice cantidad. Ejemplo: Primer renglón 8B, es una fisura longitudinal o transversal, una de 10 ft, otra de 20ft y una de 15 ft.
- II. Se suman las cantidades para cada nivel de severidad ubicándola en la columna de total, Ejemplo, primer renglón identificado con severidad de falla 8B, se suman 10, 20 y 15 para una suma de 45.
- III. Dividir el total de cada falla entre el área de la unidad de muestra inspeccionada y multiplicar por 100% para obtener el porcentaje de la densidad de cada tipo de falla.

IV. El valor deducido o de reducción se obtiene mediante las Figuras del Apéndice A, o bien si solo uno o ninguno de los valores deductivos es mayor a 5, la suma de los valores deductivos es utilizada en lugar del valor deductivo corregido, para determinar el PCI. De no ser así se usa el siguiente procedimiento para pavimentos rígidos y flexibles:

- a) Determinar el número máximo de fallas (Ecuación 3.4, ejemplo Ecuación 3.5, planteadas por [23]):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{95}\right) * (100 - VAR) \leq \quad (3.4)$$

VAR= Valor individual de reducción más alto

$$m = 1 + \left(\frac{9}{95}\right) * (100 - 27) \leq \quad (3.5)$$

- b) Crear una tabla con los valores VR's de forma descendiente en la primera fila, remplazando el valor menor por el producto del VR mínimo por la fracción decimal con valor de 0.92, utilizando este valor como el menor.
- c) Sumar todos los valores y colocar en una columna como total.
- d) Agregar una columna de "q" agregando el total de VR's con valor mayores a 5.
- e) Copiar en una segunda línea los valores de la primera cambiando los valores de VR mayores a 5, de uno por uno y repetir esto hasta que q sea igual a 1.

V. El PCI se determina con la siguiente ecuación planteada por [23], se muestra ejemplo en la Tabla 3.6:

$$PCI = 100 - \text{Maximo VRC} \quad (3.6)$$

Tabla 3.6. Cálculo de valor corregido del PCI para pavimento flexible (Recuperado de [23]).

#	Valor de reduccion							Total	q	VRC
1	27	21	20	9	4.9	4	1.8	92.5	4	50
2	27	21	20	5	4.9	4	1.8	88.5	3	56
3	27	21	5	5	4.9	4	1.8	73.5	2	46
4	27	5	5	5	4.9	4	1.8	57.5	1	57.5
5										

$$m=1+(9/95)*(100-27)=7.92$$

$$\text{Max VRC}=57.5$$

$$PCI=100-57.5=42.5$$

- Cálculo de PCI para pavimentos rígidos (hormigón de cemento Portland).
Para describir los pasos se va a utilizar un ejemplo mismo que se relata en el método 5340 (Tabla 3.7).

3.1.5. Análisis de mantenimiento actual

El Grupo Aeroportuario Centro Norte (OMA), al cual pertenece Ciudad Juárez utiliza un manual general de autoinspección, para detectar las condiciones de riesgo que se presenten en el aeropuerto, este manual es basado en la ley de Vías Generales de Comunicación, en la ley de Aeropuertos y su Reglamento, ley de Aviación Civil y su Reglamento, ley Federal de Procedimiento administrativo y ley Federal sobre Metrología y Normalización. Para llevar a cabo las inspecciones se requiere el siguiente material y equipo:

- Reporte de inspección anterior (para verificar las correcciones);
- Formato de reporte de inspección diaria para la inspección en curso;
- Plano cuadrículado para señalar los puntos donde se localice la falla;
- Lámpara de mano para verificar el interior de registros, etc;
- Binoculares;
- Cámara fotográfica;
- Radio portátil en frecuencia terrestre y frecuencia aeronáutica;
- Contar con un chaleco antirreflejante;
- Vehículo equipado con: radio transceptor, VHF-AM en frecuencia aeronáutica para comunicarse con la Torre de Control, y VHF-FM.

Se llevan a cabo cuatro tipos de inspecciones; las cuales son las que actualmente ayudan al Aeropuerto CJS a identificar las condiciones en las que

se encuentra, sin embargo, son muy generales, se pueden observar en el Apéndice a. Las cuatro inspecciones son: 1) diaria, 2) continua, 3) periódica y 4) especial.

3.1.6. Datos de ACN y PCN

La resistencia de pavimentos se determina con el ACN (Número de Clasificación de la aeronave) y PCN (Número de clasificación del pavimento). El ACN es dado por el fabricante de la aeronave, mientras que el PCN se determina bajo ciertos estudios y condiciones predeterminadas. Idealmente el PCN tiene que cumplir con el ACN utilizado para la aeronave crítica. En el área de movimientos, incluyendo la plataforma, las aeronaves provocan menor impacto el ACN y PCN ya que solo son áreas de desplazamiento, a diferencia de la pista que su impacto es mayor. En el capítulo II se muestran los valores de PCN obtenidos en el último estudio realizado a los pavimentos del Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez, sin considerar el recarpeteo de la calle de rodaje B en 2021.

3.2. Fase II. Desarrollo de la guía de inspección

Al conocer la importancia de los pavimentos aeroportuarios dentro de las operaciones aéreas, se propone la realización de una guía de inspección y detección de fallas exclusiva para el Aeropuerto CJS (Figura 3.6).



Figura 3.5. Fase II (Autoría propia).

3.2.1. Análisis de diseño

Para poder conservar los pavimentos en buen estado, un diseño inicial adecuado facilitará y ayudará a lograrlo, además de todos los cuidados y mantenimientos pertinentes, para el análisis de diseño se utiliza el método Kano, herramienta analítica que relaciona las características de un producto con la satisfacción del cliente, además de identificar los atributos principales del producto (Figura 3.7).

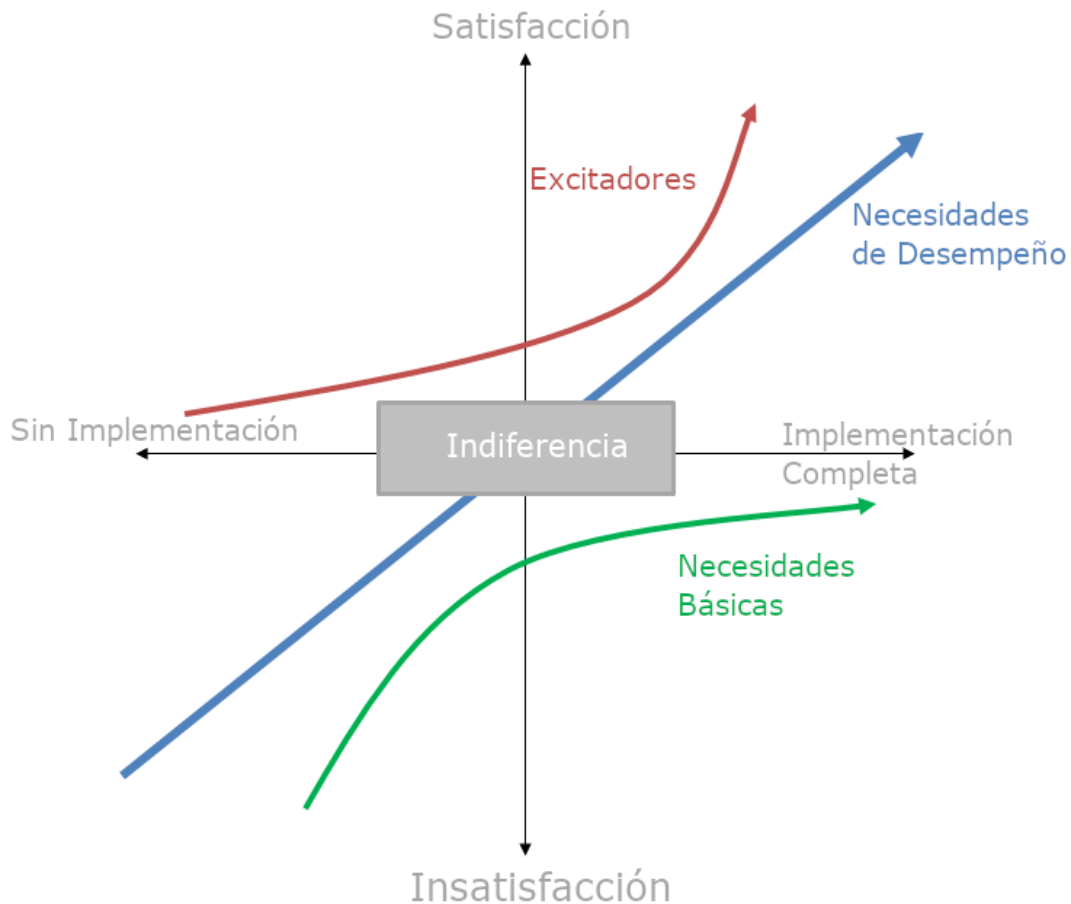


Figura 3.6. Función del producto con base en el grado de satisfacción (Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/modelo-de-kano.html>).

El método Kano tiene como objetivo:

- Conocer cuáles son las falencias de un producto, esto es, atributos que deberían estar presentes, pero no lo están o no en suficiente grado;
- Si es conveniente o no invertir en agregar o no un determinado atributo ¿El cliente estará o no dispuesto a pagar por este atributo adicional?
- Determinar cuáles atributos pueden llevarnos a superar a nuestros competidores.

Con base en el cuestionario aplicado se analizan los siguientes atributos:

- Mantenimiento;
- Reparaciones;
- Comodidad.

3.2.2. Diseño de la guía de inspección

Para realizar la guía de inspección primero se obtuvieron los planos del Aeropuerto CJS, proporcionado por el personal, tal como se muestra en la Figura 3.8. posteriormente se realizaron las secciones del Aeropuerto, para la guía de inspección, se tomaron solo las zonas principales del Aeropuerto: plataforma comercial, calle de rodaje A, calle de rodaje B, calle de rodaje C, cabecera 21, cabecera 03 y plataforma principal.

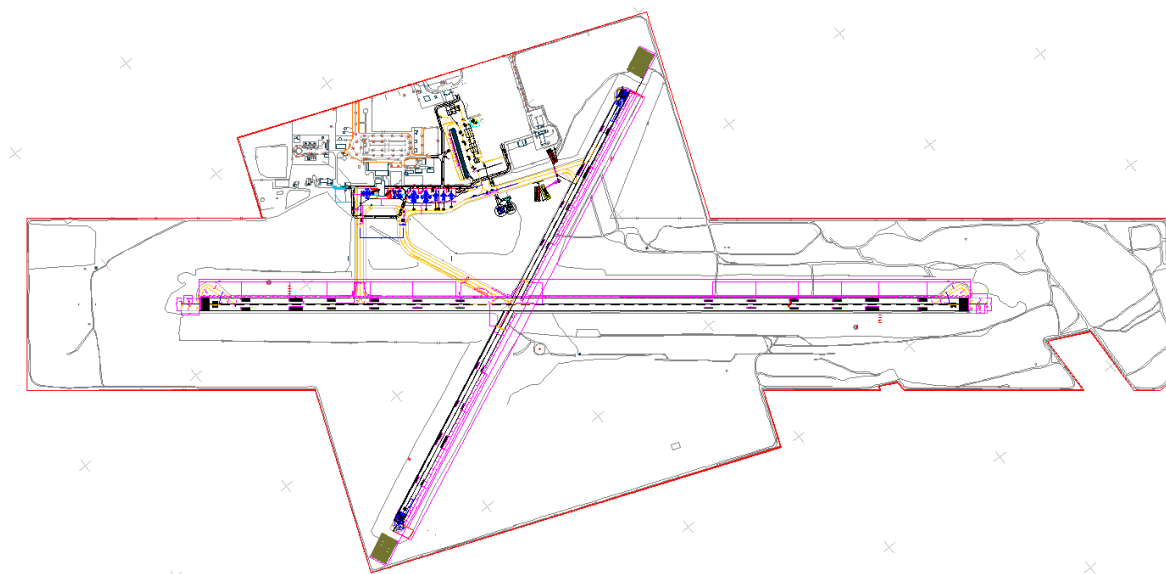


Figura 3.7. Planos del Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez. (Recuperado del Aeropuerto).

4. . RESULTADOS

4.1. Condiciones actuales del Aeropuerto CJS

Las condiciones actuales del aeropuerto permiten conocer los tipos de fallas que se presentan en el Aeropuerto CJS, bajo las condiciones que presenta como lo son clima, terreno, mantenimientos, etc.

4.1.1. Identificación de fallas

Se realizaron 15 visitas al aeropuerto, que fueron realizadas periódicamente, en la medida en que el Aeropuerto lo permitió. La evaluación visual se puede observar en las Tablas 4.1 a la 4.7, para cada uno de los recorridos. Estos recorridos se llevaron a cabo en compañía de personal de operaciones, por seguridad e integridad de las instalaciones, su personal y las operaciones.

Tabla 4.1. Patologías de Aeropuerto CJS de septiembre 2020 (Autoría propia).






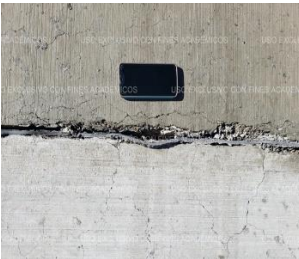


<u>Patologías de pavimento en el Aeropuerto CJS</u>				Septiembre 2020
<u>Problema</u>	<u>Zona</u>	<u>Tipo de pavimento</u>	<u>Evidencia</u>	<u>Características</u>
Falla por junta	Plataforma comercial posición 03	Rígido y flexible		Falta de sellado en la junta, desprendimiento de FOD.
Piel de cocodrilo	Plataforma comercial posición 03	Flexible		Este tipo de patología es muy común, sin embargo, es funcional en grados de severidad bajos y medios.
Ahuellamiento	Plataforma comercial posición 05	Flexible		Se tiene un Ahuellamiento considerable, afectando la calidad de operación.
Hundimiento	Plataforma comercial posición 05	Flexible		Por la presencia de agua es más fácil visualizar el hundimiento, aunque es de severidad baja.

Tabla 4.2. Patologías de Aeropuerto CJS del 13 de octubre 2020 (Autoría propia).

Patologías de pavimento en el Aeropuerto CJS				13 octubre 2020
Problema	Zona	Tipo de pavimento	Evidencia	Características
Falla de fisuramiento transversal, hundimiento leve y desprendimiento de material.	Cabecera 21, junta con pista	Flexible, cerca del rígido.		De severidad alta, con potencial de daño a los neumáticos por presencia de FOD y pinchadura, distancia aproximada de 125 cm.
Falla por fisuramiento, desprendimiento de material y empalme de pavimento flexible en el rígido	Borde de pista, en cabecera 21	Flexible y rígido		El descascaramiento severo del material en esta falla presente es de alto potencial FOD durante el inicio de la carrera de despegue de la aeronave crítica
Falla por junta	Plataforma comercial posición 05	Flexible y rígido		Pueden llegar a causar daños a los neumáticos (pincha y/o desgaste) por los bordes filosos de las losas, además de la falta de sellador.
Piel de cocodrilo	Plataforma comercial posición 07	Flexible		Se presenta en severidad baja.
Ahuellamiento	Plataforma comercial posición 03	Flexible y rígido		Ocasionado por las juntas de pavimento flexible y pavimento rígido.
Hundimiento	Plataforma comercial posición 05	Flexible		Por la profundidad y tamaño a referencia con el radio, se determina que es una falla con severidad media.

Tabla 4.3 Patologías de Aeropuerto CJS del 22 de enero 2021 (Autoría propia).

Patologías de pavimento en el Aeropuerto CJS				22 enero 2021
Problema	Zona	Tipo de pavimento	Evidencia	Características
Fallas por desconchamiento de juntas de severidad media y alta.	Cabecera 21	Rígido		Fallas por desconchamiento de juntas y esquinas de severidad media-alta < 2ft de longitud y > 1in de profundidad, alto potencial FOD por desprendimiento de más de tres piezas, totalmente sueltas (círculo rojo).
Fallas por daño de sellador de juntas	Cabecera 21	Rígido		Falla por desconchamiento de junta de severidad media-baja <2ft de longitud (desprendimiento de material en los bordes) y daño en el sellador, ambas placas presentan fisuramiento fino por contracción, posiblemente causado durante el fraguado de estas.
Reparación de falla de fisuramiento transversal, hundimiento leve y desprendimiento de material.	Cabecera 21, junta con pista	Flexible, cerca del rígido.		Vista lateral desde el borde de pista de la reparación (por corte y sustitución) de la junta de cabecera y pista.
Falla por fisuramiento	Cabecera 21, junta con pista	Flexible, cerca del rígido.		A pesar de la reparación ya existía una falla por fisuramiento en la junta, ubicada en el paso del L/G principal de la aeronave.






Parche	Cabecera 21	Rígido		Reparación de falla con corte y sustitución de material, utilizando un grano grueso, destinito al concreto, con misma resistencia.
Falla por junta	Plataforma comercial posición 04	Flexible y rígido		Se observó un leve desnivel entre las juntas.
Piel de cocodrilo	Plataforma comercial posición 07	Flexible		Severidad baja, cambio en consideración a la visita anterior.
Ahuellamiento	Plataforma comercial posición 03	Flexible		Localizado en la posición del L/G principal.
Hundimiento	Plataforma comercial posición 05	Flexible		Severidad baja.

Tabla 4.4 Patologías de Aeropuerto CJS del 12 febrero 2021(Autoría propia).

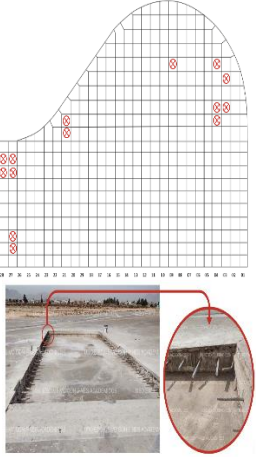



Patologías de pavimento en el Aeropuerto CJS				12 febrero 2021
Problema	Zona	Tipo de pavimento	Evidencia	Características
Reparación de losas	Cabecera 21	Rígido		Se repararon algunas losas de la cabecera. El grosor (profundidad) de la losa es de 30 cm. sobre una base de concreto de relleno fluido de 20 cm. En el acercamiento (círculo rojo) se pueden apreciar las barras de las juntas: las barras longitudinales de acero liso van en dirección del tráfico de la aeronave, tienen un diámetro de 1 ½ in. y están espaciadas cada 30 cm. Las barras transversales de acero corrugado sujetan las losas en su posición, tienen un diámetro de 1 in. y están espaciadas cada 60 cm.
Parches	Cabecera 21	Rígido		El parche presenta una correcta aplicación previa, de corte del área afectada, posiblemente por desconchamiento; presenta un deterioro moderado con una grieta longitudinal que fractura el parche en más de dos piezas.
Parches	Cabecera 21	Rígido		Este parche, presenta deterioro severo de nivel medio, afectando la esquina de otra losa, causando que sufra de desconchado de esquina, su correcta reparación debía ser un rectángulo completo.
Material asfáltico incorrectamente aplicado.	Cabecera 21	Rígido con flexible mal colocado.		Material asfáltico incorrectamente aplicado, o simplemente, restos sin limpiar en algunas losas.

Tabla 4.5. Patologías de Aeropuerto CJS del 14 de febrero 2021 (Autoría propia).







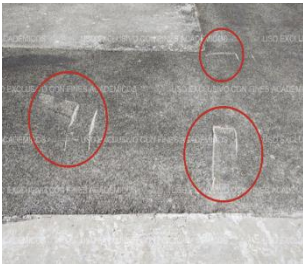
Patologías de pavimento en el Aeropuerto CJS				14 febrero 2021
<u>Problema</u>	<u>Zona</u>	<u>Tipo de pavimento</u>	<u>Evidencia</u>	<u>Características</u>
Nieve	Pista 03-21	Flexible		Se presentó una precipitación de nieve en la localidad, procedente de una masa de aire polar, causando la acumulación de nieve en las inmediaciones del aeropuerto. Se tomaron algunas fotografías como evidencia y para análisis de los posibles efectos de las bajas temperaturas sobre el pavimento a causa de los ciclos de congelación-descongelación.
Nieve	Cabecera 03	Rígido		

Tabla 4.6. Patologías de Aeropuerto CJS del 23 de abril del 2021 (Autoría propia).

Patologías de pavimento en el Aeropuerto CJS				23 abril 2021
Problema	Zona	Tipo de pavimento	Evidencia	Características
Fisuramiento por contracción y/o mapa en las losas recientes	Cabecera 21	Rígido		Se presentarán fisuramiento en mapa y por contracción, posiblemente durante el fraguado y curado de estas. Las losas fueron reemplazadas en el año 2018.
Rotura de esquina	Cabecera 21	Rígido		Severidad media.
Reparación incorrecta de sellado de juntas	Cabecera 21	Rígido		En la esq. Inferior derecha se encuentra una losa recién reemplazada, que afectará el sellador utilizado en las juntas, pues posiblemente se fracturará.
Desconchamiento de esquina	Cabecera 21	Rígido		Severidad media y parche pequeño en esquina.
Daño en la reparación realizada en enero 2021	Cabecera 21	Rígido		En los círculos rojos se aprecia las marcas dejadas por la posible maquinaria utilizada durante el proceso de reemplazo de losas.









Daño en la reparación realizada en enero 2021	Cabecera 21	Rígido		Se aprecia el borde irregular del parche, con riesgo de desprendimiento y alto potencial FOD, por su cercanía al centro de pista.
Falla por junta	Plataforma comercial posición 03	Flexible y rígido		La presencia de material desprendido y sello suelto, faltante o dañado.
Piel de cocodrilo	Plataforma comercial posición 07	Flexible		Esta patología no se ha reparado por seguir siendo considerado severidad baja.
Ahuellamiento	Plataforma comercial posición 03	Flexible y rígido		Esta falla tiene por varias visitas y no ha reparado, a pesar de eso su severidad ha sido constante visualmente.

Tabla 4.7 Patologías de Aeropuerto CJS del 17 de septiembre del 2021 (Autoría propia).

Patologías de pavimento en el Aeropuerto CJS				17 septiembre 2021
Problema	Zona	Tipo de pavimento	Evidencia	Características
Falla por junta	Plataforma comercial posición 04	Flexible y rígido		Falta de sellador, y desprendimiento leve de material.
Piel de cocodrilo	Plataforma comercial posición 07	Flexible		En esta ocasión se observó un leve desprendimiento de material, aun así, se sigue considerando de severidad baja.
Ahuellamiento	Plataforma comercial posición 03	Flexible y rígido		A pesar de ser una reparación con poco tiempo existe la presencia de ahuellamiento en la parte del pavimento flexible, probablemente ocasionado por la cimentación del terreno.
Hundimiento	Plataforma comercial posición 05	Flexible		Los hundimientos presentes son leves por lo que no afectan ni la calidad del viaje, y se pueden observar solo si hay presencia de agua.

Como se ha revisado en capítulos anteriores, cada falla en pavimentos es diferente, por ende, su causa y su reparación también lo es, después del análisis visual realizado al aeropuerto se realizó un resumen de las fallas más comunes sus posibles causas y su reparación, tanto para pavimento flexible como para pavimento rígido (Tablas 4.8 y 4.9). las recomendaciones de reparaciones se hacen basada en las normas.

Tabla 4.8 Guía para el mantenimiento y reparación de los problemas más comunes en pavimentos flexibles(Autoría propia, recuperado de [25])

Problema	Posible causa	Reparación
Desgaste/ Oxidación	<ul style="list-style-type: none"> • Medio ambiente; • Falta de tratamientos superficiales a tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar tratamiento superficial; • Revestir.
Fisuras	<ul style="list-style-type: none"> • Edad; • Condiciones medio ambientales; • Material bituminoso muy duro o sobrecalentar durante la mezcla; • Defectos en el sellante (Por ejemplo: temperatura de aplicación incorrecta, selección del sellante incorrecto, preparación incorrecta de la fisura). 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar material sellante antiguo si todavía está presente; • Limpiar y preparar fisuras; • Sellar y resellar fisuras; • Calentar las juntas puede ser una opción para juntas longitudinales bajo la supervisión de un ingeniero.
Piel de cocodrilo o fisuras por fatiga	<ul style="list-style-type: none"> • Fallo de la base o subbase; • Sobre carga; • Capa mal dimensionada (muy fina). 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar y reemplazar el pavimento dañado, incluyendo la base y/o explanada si se requiere.
Parches	<ul style="list-style-type: none"> • Material de reparación inadecuado; • Edad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Quitar y reemplazar; • Reparar y repavimentar.
Ahuellamiento o hundimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Trafico; • Edad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Quitar/Reemplazar áreas desplazadas; • Fresado de superficie.
Pérdida de resistencia al deslizamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Depositiones de caucho/ contaminación de la superficie; • Áridos pulidos; • Tratamiento superficial impropio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar caucho/ superficie contaminada; • Aplicar tratamiento superficial.
Exudación	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva mezcla de mucho/poco aire. La exudación puede ser precursora de otras deformaciones superficiales como surcos, por ejemplo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Echar con arena y después la retirada de arena es la opción prioritaria. Una excesiva exudación puede requerir la retirada y sustitución del pavimento.
Drenaje	<ul style="list-style-type: none"> • Pobre mantenimiento de los elementos de drenaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Corrección de arcenes, limpiar el camino de drenaje; • Limpiar estructuras de drenaje. Por ejemplo: alcantarillas, desembocaduras, etc.

Tabla 4.9 Guía rápida para el mantenimiento y reparación de los problemas más comunes en pavimentos rígidos (Autoría propia, recuperado de [25])

Problema	Posible causa	Reparación
Daño en el sellante de juntas	<ul style="list-style-type: none"> • Edad; • Condiciones medioambientales; • Defectos del sellante (por ejemplo: por aplicación con una temperatura incorrecta, selección de sellante equivocado, preparación de juntas inapropiado). 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar el sellante antiguo; • Limpiar juntas; • Resellar.
Fisuras	<ul style="list-style-type: none"> • Fallo en el apoyo de la losa; • Cargas repetitivas y esfuerzos flectores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar y sellar fisuras; • Reparar/ reemplazar losa; • Evaluar la idoneidad estructural; puede requerir fortalecimiento.
Roturas de esquina	<ul style="list-style-type: none"> • Fallo en el apoyo de la losa; • Cargas repetitivas y esfuerzos flectores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sellar y mantener hasta que se parche en profundidad.
Desprendimientos de juntas	<ul style="list-style-type: none"> • Defectos latentes, Por ejemplo: acabados excesivos; • Material incompresible en juntas; • Daños producidos por quita niveles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar material desprendido; resellar; • Reparación semi-profunda.
Fisuramiento	<ul style="list-style-type: none"> • Material incompresible en las juntas que impide a la losa expandirse. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar la losa en el área estallada; • Limpiar y resellar juntas.
Pérdida de resistencia al deslizamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Deposiciones de caucho/ contaminación de la superficie; • Edad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar caucho/superficie contaminada; • Fresado.
Drenaje	<ul style="list-style-type: none"> • Pobre mantenimiento de los elementos de drenaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Corrección de arcenes, limpiar el camino del drenaje; • Limpiar estructuras de drenaje. Por ejemplo: alcantarillas, desembocaduras, etc.
Material desprendido	<ul style="list-style-type: none"> • Material. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar FOD (objeto extraño que puede causar daño).
Parches	<ul style="list-style-type: none"> • Detalles/ materiales inadecuados de reparación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar/ reemplazar.

4.1.2. Resultados de la aplicación del cuestionario.

El cuestionario fue aplicado en un periodo de agosto 2022 a diciembre 22 y fue respondido por 22 personas:

1. ¿Qué tan cómodo te sientes al utilizar los pavimentos del aeropuerto CJS actuales?



Figura 4.1. Resultado pregunta 1 (Autoría propia).

2. ¿Qué tan cómodo te sientes al NO utilizar los pavimentos del aeropuerto CJS actuales?



Figura 4.2. Resultado pregunta 2 (Autoría propia).

3. ¿Las reparaciones de los pavimentos del aeropuerto son fáciles?

● Muy de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● Indiferente	0
● En desacuerdo	10
● Muy en desacuerdo	12



Figura 4.3. Resultado pregunta 3 (Autoría propia).

4. ¿Las reparaciones de los pavimentos del aeropuerto son difíciles?

● Muy de acuerdo	14
● De acuerdo	8
● Indiferente	0
● En desacuerdo	0
● Muy en desacuerdo	0



Figura 4.4. Resultado pregunta 4 (Autoría propia).

5. ¿Qué tan satisfecho te sientes si se hace mucho mantenimiento a los pavimentos?

● Muy satisfecho	8
● Satisfecho	9
● Indiferente	1
● Insatisfecho	0
● Muy insatisfecho	4



Figura 4.5. Resultado pregunta 5 (Autoría propia).

6. ¿Qué tan satisfecho te sientes si se hace poco mantenimiento a los pavimentos?

● Muy satisfecho	4
● Satisfecho	2
● Indiferente	2
● Insatisfecho	8
● Muy insatisfecho	6



Figura 4.6. Resultado pregunta 6 (Autoría propia).

7. ¿Los mantenimientos a los pavimentos ayudan a prevenir fallas?

16 encuestados (73%) respondieron si para esta pregunta.

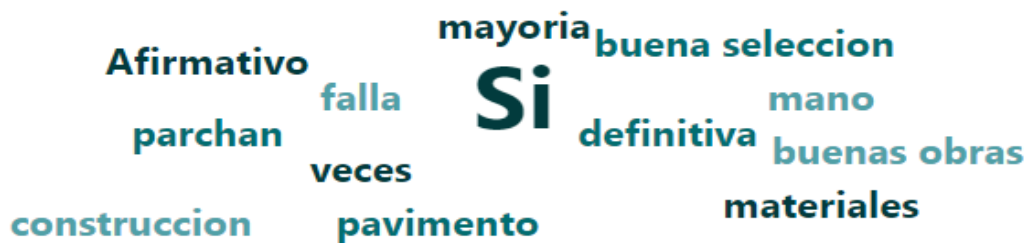


Figura 4.7. Resultado pregunta 7 (Autoría propia).

8. ¿Consideras el material implementado en las reparaciones como correcto?

11 encuestados (50%) respondieron si para esta pregunta.

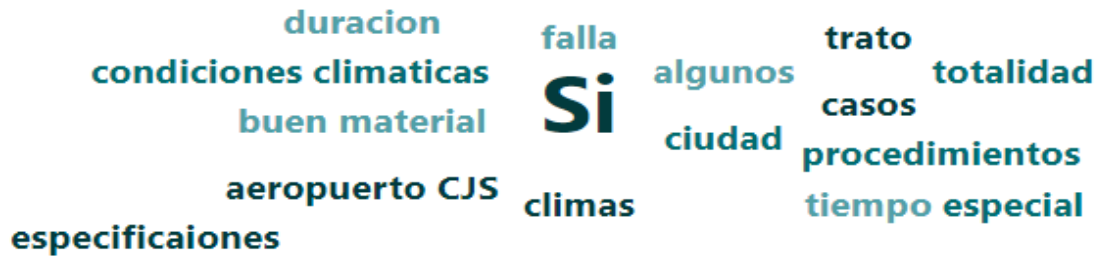


Figura 4.8. Resultado pregunta 8 (Autoría propia).

9. ¿Qué área del aeropuerto es la que presenta más fallas? por qué crees que se ocasione?

8 encuestados (36%) respondieron pistas para esta pregunta.



Figura 4.9. Resultado pregunta 9 (Autoría propia).

10. ¿Cuál es la falla en pavimentos que más se presenta en el aeropuerto?

10 encuestados (45%) respondieron juntas para esta pregunta.



Figura 4.10. Resultado pregunta 10 (Autoría propia).

4.1.3. Método ASTM 5340

Para el método ASTM primero se determinó el número mínimo de unidades y el número de partes inspeccionadas, con las fórmulas descritas en la sección anterior; asimismo, considerando los datos para pavimentos rígidos, se inspeccionó la cabecera 21:

$$N=450$$

$$E=+/- 5\%$$

$$S=15$$

$$n = \frac{(450)(15)^2}{\left(\frac{5^2}{4}\right)(450 - 1)} + (15)^2 = 261.08 = 261$$

(4.1)

Tabla 4.11 Método ASTM 5340 para la cabecera 21 2/2 (Autoría propia).

#	Valor de reducción						Total	q	VRC
1	64	16	15	11	10.8	10	126.8	6	59
2	64	16	15	11	10.8	8	124.8	5	64
3	64	16	15	11	8	8	122	4	70
4	64	16	15	8	8	8	119	3	75
5	64	16	8	8	8	8	112	2	78
6	64	8	8	8	8	8	104	1	80

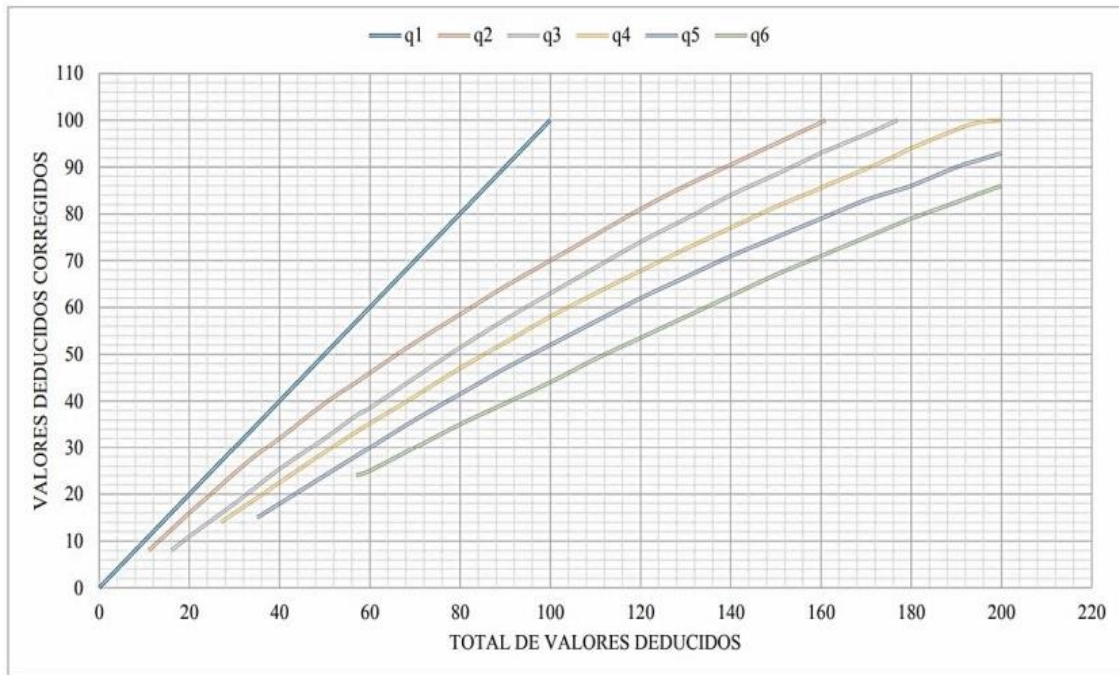


Figura 4.11 Abaco para hallar los Valores Deducidos Corregidos de los pavimentos rígidos (Recuperado de [28]).

$$m = 1 + \left(\frac{9}{95}\right) * (100 - 80) = 2.89 = 3 \quad (4.3)$$

VAR= Valor individual de reducción más alto

$$PCI = 100 - 80 = 20 \quad (4.4)$$

Con base en el índice de condición mostrado en el capítulo 3 Figura 3.5 se puede determinar que el pavimento de la cabecera 21 es muy pobre, esto debido a un PCI de 20.

Además del análisis realizado para los pavimentos rígidos se realizó un análisis para pavimentos flexibles. Primero se determinó el número mínimo de unidades y el número de partes inspeccionadas, con las fórmulas descritas en la sección anterior. Se consideran con los datos para pavimentos flexibles y se inspeccionaron las posiciones remotas de la plataforma comercial.

$$N=17052m^2$$

$$E=+/- 5\%$$

$$S=10$$

$$n = \frac{(17052)(10)^2}{\left(\frac{5^2}{4}\right)(17052 - 1)} + (10)^2 = 116.001 = 116 \quad (4.5)$$

$$i = \frac{(17052)}{116.001} = 16935.99 = 16936 \quad (4.6)$$

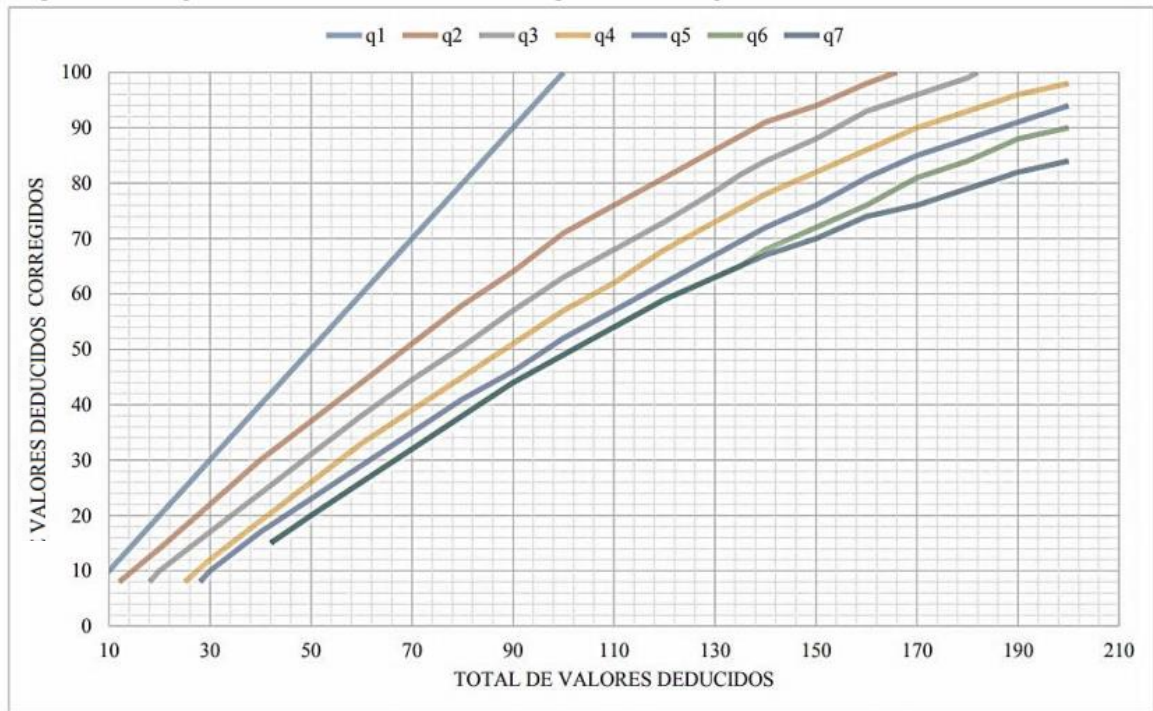


Figura 4.12 Abaco para hallar los Valores Deducidos Corregidos de los pavimentos flexibles (Recuperado de [28]).

$$m = 1 + \left(\frac{9}{95}\right) * (100 - 86) = 2.326 = 2 \quad (4.7)$$

VAR= Valor individual de reducción más alto

$$PCI = 100 - 86 = 14 \quad (4.8)$$

Con base en el índice de condición mostrado en el capítulo 3 Figura 3.5 se puede determinar que el pavimento de las posiciones remotas de la plataforma comercial es muy pobre, esto debido a un PCI de 14.

4.1.4. Análisis de mantenimiento actual

El análisis de mantenimiento actual que está utilizando el Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez es general para todo el Grupo Aeroportuario Centro norte (Ver Apéndice a), el cual analiza puntos que no siempre se requiere analizar, además de contener varios aspectos y no solo enfocado a pavimentos. A pesar de existir cuatro tipos de inspecciones, todas son muy generales, tal como se indica en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Tipos de inspecciones impartidas por OMA (Autoría propia).

Tipos de inspecciones impartidas por OMA	
Inspección Diaria	Inspección Periódica
<p>La inspección se realiza detalladamente indicando la ubicación de las fallas en el plano cuadrículado del aeropuerto a las áreas descritas a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zonas pavimentadas; • Franjas de Pista; • Señales y letreros; <ul style="list-style-type: none"> • Luces; • Ayudas visuales para la navegación; <ul style="list-style-type: none"> • Obstrucciones; • Abastecimiento de combustible; <ul style="list-style-type: none"> • Construcción; • Rescate de extinción de incendios; • Control de peligros de fauna. 	<p>La inspección periódica consiste en la evaluación de las condiciones de instalaciones o actividades en las que se detecta el avance gradual de anomalías</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zonas pavimentadas; • Franjas de pista; • Señalamientos y letreros; <ul style="list-style-type: none"> • Iluminación; • Ayudas visuales; • Obstrucciones; • Abastecimiento de combustible; • Rescate y extinción de incendios.
Inspección Especial	Inspección Continua
<p>La inspección especial de instalaciones o actividades debe llevarse a cabo después de que se haya registrado una condición o situación fuera de lo común en el Aeropuerto.</p> <p>DESPUÉS DE UNA TORMENTA O HURACAN:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zonas pavimentadas; • Franjas de pista. <p>DESPUÉS DE UN ACCIDENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zonas pavimentadas; • Franjas de pista. <p>DESPUÉS DE UN SISMO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Edificaciones. 	<p>Supervisión continua como: casos recurrentes de incursiones, vehículos estacionados en zonas prohibidas, circulación de personas y vehículos circulando fuera de las vialidades, este tipo de anomalías deben inspeccionarse en cualquier momento.</p>

4.2. Análisis de diseño

El método Kano permitió identificar la opinión del personal involucrado, que son los usuarios, los resultados con base en el cuestionario aplicado se muestran en las Tablas 4.15 y 4.16.

Tabla 4.15 Resultados método Kano (Autoría Propia).

	Uso (%)	Reparaciones (%)	Mantenimiento (%)
U Unidimensional	0	0	4
F Forzoso	0	0	2
A Atractivo	0	12	4
Q Cuestionable	2	2	0
R Reversa	10	0	5
I indiferente	10	8	7
Suma	22	22	22

Tabla 4.16. Resultados en porcentaje de método Kano (Autoría propia).

	Uso (%)	Reparaciones (%)	Mantenimiento (%)
U Unidimensional	0.00	0.00	18.18
F Forzoso	0.00	0.00	9.09
A Atractivo	0.00	54.55	18.18
Q Cuestionable	9.09	9.09	0.00
R Reversa	45.45	0.00	22.73
I indiferente	45.45	36.36	31.82
Suma	100	100	100

Se puede observar en los resultados que, en el atributo de usabilidad, el 45% de los usuarios son indiferentes a esto, al igual que van en reversa, esto es por varias causas, no entendieron la pregunta, no les interesa o bien no le dan importancia al no ocurrir algún accidente de gravedad. Por otro lado, tenemos el atributo de reparación, el cual es atractivo para los usuarios con un 54.55%, esto por las molestias que puede traer una reparación, como por ejemplo el cierre de

áreas parciales o totales. Mientras que para el mantenimiento son indiferentes, con un 31.82 % de los usuarios, a lo que los usuarios comentan que no les afecta eso porque ellos no se involucran en las reparaciones y desconocen la gravedad del problema.

4.3. Costo de reparación

El pavimento rígido tiene un costo inicial más elevado que el flexible y se diseña para una vida útil de 20 años y el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa comúnmente en las juntas de las losas. Cada una de las intervenciones que se efectúen a un pavimento, evidentemente traen asociado un costo, que dependerá de la magnitud de la acción de mantenimiento y del precio de los insumos para poder llevarla a cabo (personal, equipo, maquinaria y materiales). Cada compañía hace la evaluación del trabajo a realizar y determina el costo y tiempo de reparación y/o construcción, así se puede tomar una decisión.

Las reparaciones son variables dependiendo el aeropuerto, el clima, la temporada del año, el presupuesto, el tipo de material, etc y sobre todo en la compañía seleccionada para la reparación, en la Tabla 4.17 y 4.18 se muestra el costo aproximado por una compañía anónima, para algunas de las fallas vistas presentes en el Aeropuerto de Ciudad Juárez.

Tabla 4.17. Costo de fallas en pavimento flexible (Autoría propia).

Costo de fallas para pavimento flexible			
Tipo de falla	Reparación	Unidad	Costo en pesos
Desgaste/Oxidación	Carpeta	m ³	\$ 6,600.00
Fisuras	Cemento asfáltico	kg	\$ 19.00
Piel de cocodrilo	Base hidráulica	m ³	\$ 1,200.00
Parches	Subrasante	m ³	\$ 950.00
Ahuellamiento	Liga	Lto	\$ 19.00
Hundimiento	Impregnación	Lto	\$ 19.00
Perdida de resistencia	Excavación a mano	m ³	\$ 450.00

A pesar de las diferentes causas que generan cada falla, algunas de las empresas usan prácticamente la misma solución para todas, por reducir costo y tiempo, para pavimento flexible se paga por metro cubico o por detalle, por lo que el PU de la carpeta es el mismo en todos los casos, dependiendo el pavimento, las fallas y la edad, se debe evaluar la necesidad de cambiar la estructura, esto en base a la capa base hidráulica y la subrasante, estas también por metro cubico, en el caso de excavaciones incluye corte con disco y retiro de material.

Tabla 4.18 Costo de fallas en pavimento rígido (Autoría propia).

Costo de fallas para pavimento rígido	
Tipo de falla	Reparación
Daño de sellante	\$450.00/ ML
Fisuras	\$450.00/ ML
Roturas de esquina	\$450.00/ ML
Desprendimientos de juntas	\$450.00/ ML
Fisuramiento	\$450.00/ ML
Pérdida de resistencia	\$450.00/ ML
Daño de sellante	\$450.00/ ML



La solución a estas problemáticas en pavimentos rígidos es prácticamente la misma, incluye limpieza, sello vulken y en caso necesario para las juntas entre losas que tengan desprendimientos o sea necesario la reposición de la junta, en estos casos se utiliza el material conocido como cola de rata.

4.4. Diseño de la guía de inspección

La guía de inspección se realizó para a las zonas principales del Aeropuerto que son: plataforma comercial, calle de rodaje A, calle de rodaje B, calle de rodaje C, cabecera 21, cabecera 03 y plataforma principal. Se coloca un apartado con los datos generales del aeropuerto y las condiciones de la inspección, en la Tabla 4.19 se muestra un ejemplo de las secciones para la guía.

- Sección 1: contiene datos generales como nombre del aeropuerto, la zona a inspeccionar y la fecha.
- Sección 2: se coloca el plano de la zona a analizar, conformado de divisiones para seccionar la zona y hacer más fácil el análisis.
- Sección 3: se encuentran en esta sección los tipos de fallas para pavimentos flexibles y pavimentos rígidos.
- Sección 4: aquí se colocarán los datos de las fallas detectadas, en sección se colocará la sección en la que corresponde la falla según el plano de la imagen, en tipo de pavimento solo se colocaras una “X” en pavimento correspondiente, en el tipo de patología se coloca la numeración de la falla según lo indique la sección 3, en grado de severidad se colocará una “X” en donde corresponda y en observaciones se colocará algo relevante para este tipo de falla.

Tabla 4.19 Ejemplo de la guía de inspección (Autoría propia).

Guía de inspección en pavimentos aeroportuarios							
		Grupo Aeroportuario Centro Norte, S.A.B. de C.V.					
		Nombre del Aeropuerto: Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez					
Zona:				Fecha:			
<p>Nota: Utilice el diagrama de cada sección. Marque con una X las zonas donde se encuentre fallas de cualquier nivel de severidad.</p> <div style="text-align: center; margin: 20px 0;">  </div> <div style="margin-top: 10px;"> <input type="checkbox"/> Pavimento flexible <input type="checkbox"/> Pavimento rígido </div>							
Fallas para pavimentos rígidos (R)				Fallas para pavimentos flexibles (F)			
R1. Estallidos	R9. Bombeo	F1. Piel de cocodrilo	F9. Derrame de combustible	R2. Rotura de esquina	R10. Desprendimientos, fisuras, erráticas, mapa de fisuras	F2. Exudación	F10. Bacheos
R3. Fisuras longitudinales, transversales y diagonales	R11. Asentamientos	F3. Fisura de bloque	F11. Agregado pulido	R4. Fisura de durabilidad (D)	R12. Losa fragmentada	F4. Ondulación	F12. Peladura
R5. Daño en sello de juntas	R13. Fisuras por retracción	F5. Depresión	F13. Ahuellamiento	R6. Bacheos, 5 pie ²	R14. Desprendimiento de losa	F6. Erosión por chorro de turbina	F14. PCC expuesto
R7. Bacheos- corte por instalación	R15. Desprendimiento en esquina	F7. Reflexión de juntas PCC	F15. Fisuras por deslizamiento	R8. Pérdidas repentinas		F8. Fisuras Long. y transv.	F16. Hinchamiento

#	Sección	Tipo de pavimento		Tipo de patología	Grado de severidad			Observaciones
		Flexible	Rígido		Bajo	Medio	Alto	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

En la Tabla 4.20 se encuentran los datos generales del aeropuerto y del día o días de inspección, en las Tablas 4.21 hasta la 4.28 y la Tabla 4.29 se conforma de un complemento en caso de que la zona presente más de 10 fallas.

Tabla 4.20. Guía de inspección 1/10; Datos generales (Autoría propia).


Guía de inspección en pavimentos aeroportuarios						
Grupo Aeroportuario Centro Norte, S.A.B. de C.V.						
	Nombre del Aeropuerto: Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez					
	Código OACI: MMCS			Código IATA: CJS		
Categoría del aeropuerto:		Clave de referencia de aeródromo (ARC):			4C	
No precisión		Aeronave crítica de diseño:			A321	
Nota: Para hacer valido este formato, es necesario que este firmado por el personal autorizado.						
Oficial de operaciones	Nombre y Apellido				Firma:	
Jefe de operaciones	Nombre y Apellido				Firma:	
Jefe de mantenimiento	Nombre y Apellido				Firma:	
Administrador ATO	Nombre y Apellido				Firma:	
Nota: Para las condiciones meteorológicas, utilizar información del metar						
Fecha y hora de inicio de inspección	Día:	Mes:	Año:	Hora:	Cond. Meteorológicas:	Observaciones:
Fecha y hora de termino de inspección	Día:	Mes:	Año:	Hora:		Observaciones:
Observaciones generales.						
Nota: para poder realizar la inspección es necesario tener un curso para conocer las fallas.						

Tabla 4.21. Guía de inspección 2/10; Cabecera 21 (Autoría propia).


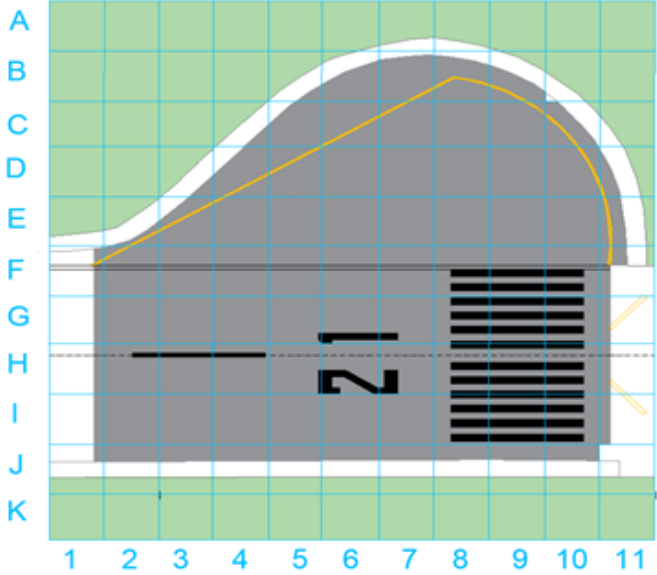

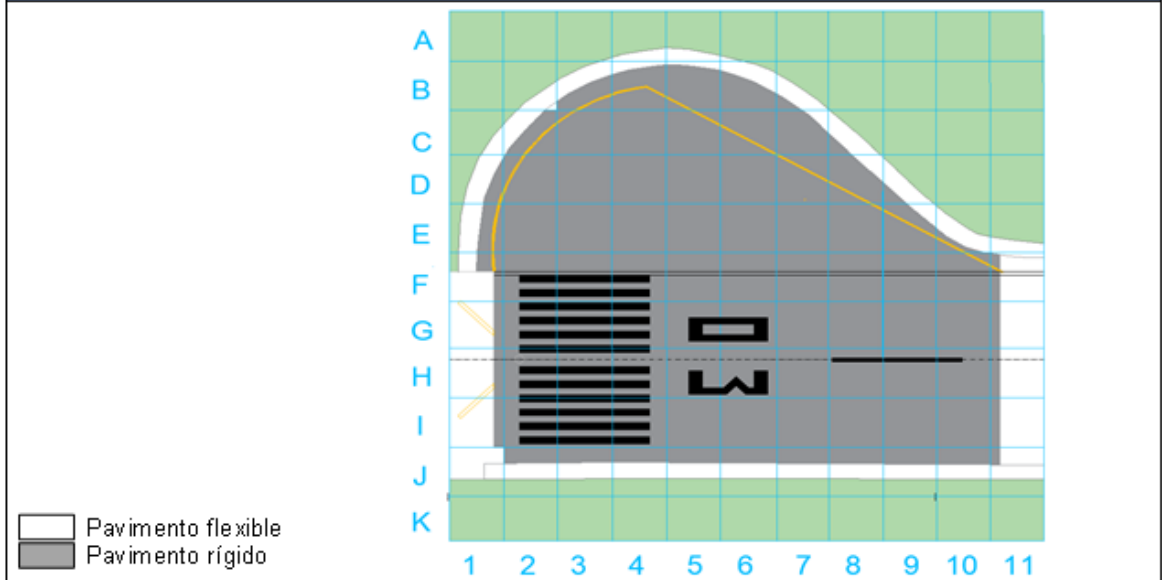
Guía de inspección en pavimentos aeroportuarios								
Grupo Aeroportuario Centro Norte, S.A.B. de C.V.								
	Nombre del Aeropuerto: Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez						Fecha:	
	Zona: Cabecera 21							
Nota: Utilice el diagrama de cada sección. Marque con una X las zonas donde se encuentre fallas de cualquier nivel de severidad.								
								
<input type="checkbox"/> Pavimento flexible <input type="checkbox"/> Pavimento rígido								
Fallas para pavimentos rígidos (R)				Fallas para pavimentos flexibles (F)				
R1. Estallidos	R9. Bombeo	F1. Piel de cocodrilo	F9. Derrame de combustible	R2. Rotura de esquina	R10. Desprendimientos, fisuras, erráticas, mapa de fisuras	F2. Exudación	F10. Bacheos	
R3. Fisuras longitudinales, transversales y diagonales	R11. Asentamientos	F3. Fisura de bloque	F11. Agregado pulido	R4. Fisura de durabilidad (D)	R12. Losa fragmentada	F4. Ondulación	F12. Peladura	
R5. Daño en sello de juntas	R13. Fisuras por retracción	F5. Depresión	F13. Ahuellamiento	R6. Bacheos, 5 pie ²	R14. Desprendimiento de junta	F6. Erosión por chorro de turbina	F14. PCC expuesto	
R7. Bacheos- corte por instalación	R15. Desprendimiento en esquina	F7. Reflexión de juntas PCC	F15. Fisuras por deslizamiento	R8. Pérdidas repentinas		F8. Fisuras Long. y transv.	F16. Hinchamiento	
#	Sección	Tipo de pavimento		Tipo de patología	Grado de severidad			Observaciones
		Flexible	Rígido		Bajo	Medio	Alto	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Tabla 4.22. Guía de inspección 3/10; Cabecera 03 (Autoría propia).

Guía de inspección en pavimentos aeroportuarios		
Grupo Aeroportuario Centro Norte, S.A.B. de C.V.		
	Nombre del Aeropuerto: Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez	
	Zona: Cabecera 03	Fecha:

Nota: Utilice el diagrama de cada sección. Marque con una X las zonas donde se encuentre fallas de cualquier nivel de severidad.



Fallas para pavimentos rígidos (R)		Fallas para pavimentos flexibles (F)	
R1. Estallidos	R9. Bombeo	F1. Piel de cocodrilo	F9. Derrame de combustible
R2. Rotura de esquina	R10. Desprendimientos, fisuras, erráticas, mapa de fisuras	F2. Exudación	F10. Bacheos
R3. Fisuras longitudinales, transversales y diagonales	R11. Asentamientos	F3. Fisura de bloque	F11. Agregado pulido
R4. Fisura de durabilidad (D)	R12. Losa fragmentada	F4. Ondulación	F12. Peladura
R5. Daño en sello de juntas	R13. Fisuras por retracción	F5. Depresión	F13. Ahuellamiento
R6. Bacheos, 5 pie ²	R14. Desprendimiento de junta	F6. Erosión por chorro de turbina	F14. PCC expuesto
R7. Bacheos- corte por instalación	R15. Desprendimiento en esquina	F7. Reflexión de juntas PCC	F15. Fisuras por deslizamiento
R8. Pérdidas repentinas		F8. Fisuras Long. y transv.	F16. Hinchamiento

#	Sección	Tipo de pavimento		Tipo de patología	Grado de severidad			Observaciones
		Flexible	Rígido		Bajo	Medio	Alto	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Tabla 4.23. Guía de inspección 4/10; Pista 03-21 (Autoría propia).


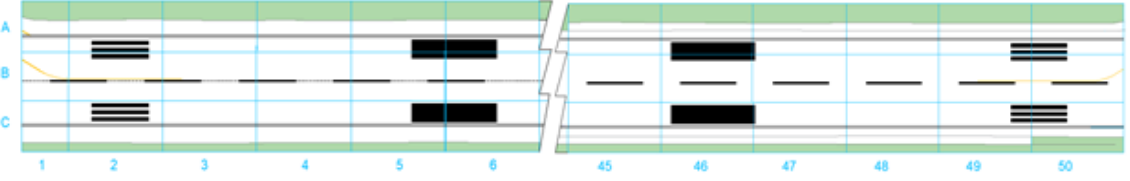

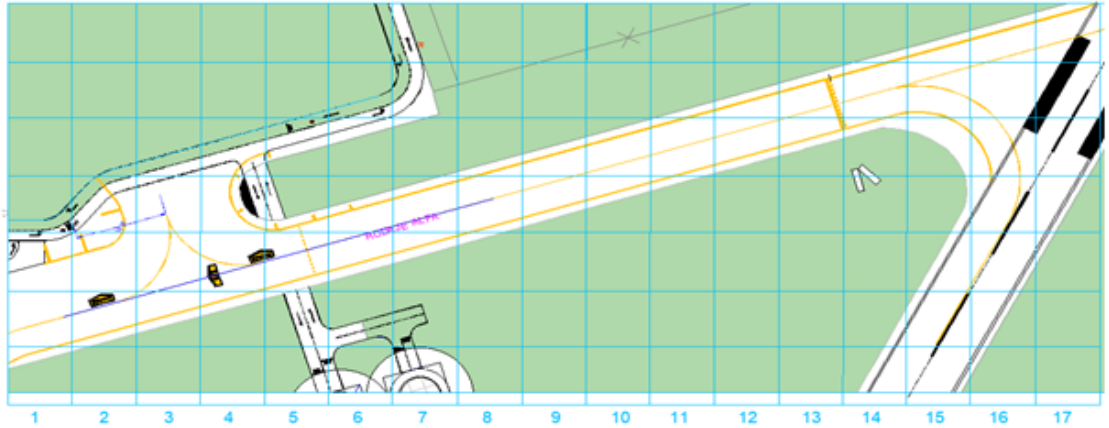
Guía de inspección en pavimentos aeroportuarios								
Grupo Aeroportuario Centro Norte, S.A.B. de C.V.								
	Nombre del Aeropuerto: Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez						Fecha:	
	Zona: Pista 03-21							
<p>Nota: Utilice el diagrama de cada sección. Marque con una X las zonas donde se encuentre fallas de cualquier nivel de severidad.</p>								
								
<input type="checkbox"/> Pavimento flexible <input type="checkbox"/> Pavimento rígido								
Fallas para pavimentos rígidos (R)				Fallas para pavimentos flexibles (F)				
R1. Estallidos	R9. Bombeo	F1. Piel de cocodrilo	F9. Derrame de combustible	R2. Rotura de esquina	R10. Desprendimientos, fisuras, erráticas, mapa de fisuras	F2. Exudación	F10. Bacheos	
R3. Fisuras longitudinales, transversales y diagonales	R11. Asentamientos	F3. Fisura de bloque	F11. Agregado pulido	R4. Fisura de durabilidad (D)	R12. Losa fragmentada	F4. Ondulación	F12. Peladura	
R5. Daño en sello de juntas	R13. Fisuras por retracción	F5. Depresión	F13. Ahuellamiento	R6. Bacheos, 5 pie ²	R14. Desprendimiento de junta	F6. Erosión por chorro de turbina	F14. PCC expuesto	
R7. Bacheos- corte por instalación	R15. Desprendimiento en esquina	F7. Reflexión de juntas PCC	F15. Fisuras por deslizamiento	R8. Pérdidas repentinas		F8. Fisuras Long. y transv.	F16. Hinchamiento	
#	Sección	Tipo de pavimento		Tipo de patología	Grado de severidad			Observaciones
		Flexible	Rígido		Bajo	Medio	Alto	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Tabla 4.24. Guía de inspección 5/10; Calle de rodaje A (Autoría propia).

Guía de inspección en pavimentos aeroportuarios							
Grupo Aeroportuario Centro Norte, S.A.B. de C.V.							
	Nombre del Aeropuerto: Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez						Fecha:
	Zona: Calle de rodaje A						

Nota: Utilice el diagrama de cada sección. Marque con una X las zonas donde se encuentre fallas de cualquier nivel de severidad.



Pavimento flexible
 Pavimento rígido

Fallas para pavimentos rígidos (R)				Fallas para pavimentos flexibles (F)			
R1. Estallidos	R9. Bombeo	F1. Piel de cocodrilo	F9. Derrame de combustible				
R2. Rotura de esquina	R10. Desprendimientos, fisuras, erráticas, mapa de fisuras	F2. Exudación	F10. Bacheos				
R3. Fisuras longitudinales, transversales y diagonales	R11. Asentamientos	F3. Fisura de bloque	F11. Agregado pulido				
R4. Fisura de durabilidad (D)	R12. Losa fragmentada	F4. Ondulación	F12. Peladura				
R5. Daño en sello de juntas	R13. Fisuras por retracción	F5. Depresión	F13. Ahuellamiento				
R6. Bacheos, 5 pie ²	R14. Desprendimiento de junta	F6. Erosión por chorro de turbina	F14. PCC expuesto				
R7. Bacheos- corte por instalación	R15. Desprendimiento en esquina	F7. Reflexión de juntas PCC	F15. Fisuras por deslizamiento				
R8. Pérdidas repentinas		F8. Fisuras Long. y transv.	F16. Hinchamiento				

#	Sección	Tipo de pavimento		Tipo de patología	Grado de severidad			Observaciones
		Flexible	Rígido		Bajo	Medio	Alto	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Tabla 4.25. Guía de inspección 6/10; Calle de rodaje B (Autoría propia).


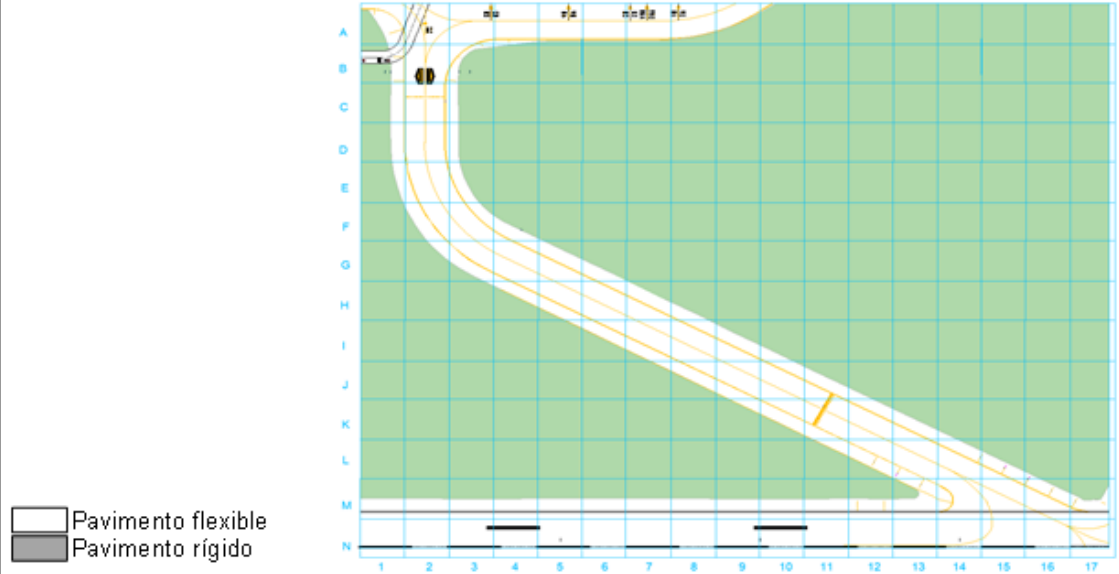
Guía de inspección en pavimentos aeroportuarios								
Grupo Aeroportuario Centro Norte, S.A.B. de C.V.								
	Nombre del Aeropuerto: Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez						Fecha:	
	Zona: Calle de rodaje B							
<p>Nota: Utilice el diagrama de cada sección. Marque con una X las zonas donde se encuentre fallas de cualquier nivel de severidad.</p>								
								
Fallas para pavimentos rígidos (R)				Fallas para pavimentos flexibles (F)				
R1. Estallidos	R9. Bombeo	F1. Piel de cocodrilo	F9. Derrame de combustible	R2. Rotura de esquina	R10. Desprendimientos, fisuras, erráticas, mapa de fisuras	F2. Exudación	F10. Bacheos	
R3. Fisuras longitudinales, transversales y diagonales	R11. Asentamientos	F3. Fisura de bloque	F11. Agregado pulido	R4. Fisura de durabilidad (D)	R12. Losa fragmentada	F4. Ondulación	F12. Peladura	
R5. Daño en sello de juntas	R13. Fisuras por retracción	F5. Depresión	F13. Ahuellamiento	R6. Bacheos, 5 pie ²	R14. Desprendimiento de junta	F6. Erosión por chorro de turbina	F14. PCC expuesto	
R7. Bacheos- corte por instalación	R15. Desprendimiento en esquina	F7. Reflexión de juntas PCC	F15. Fisuras por deslizamiento	R8. Pérdidas repentinas		F8. Fisuras Long. y transv.	F16. Hinchamiento	
#	Sección	Tipo de pavimento		Tipo de patología	Grado de severidad			Observaciones
		Flexible	Rígido		Bajo	Medio	Alto	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Tabla 4.26. Guía de inspección 7/10; Calle de rodaje B (Autoría propia).


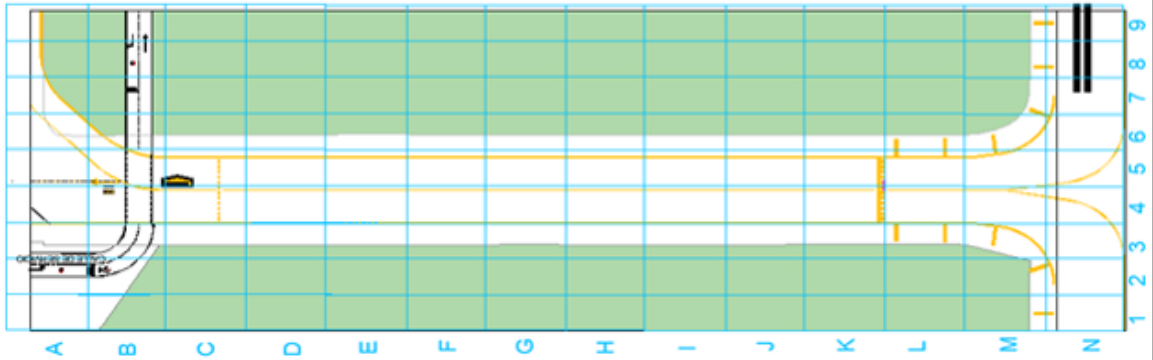
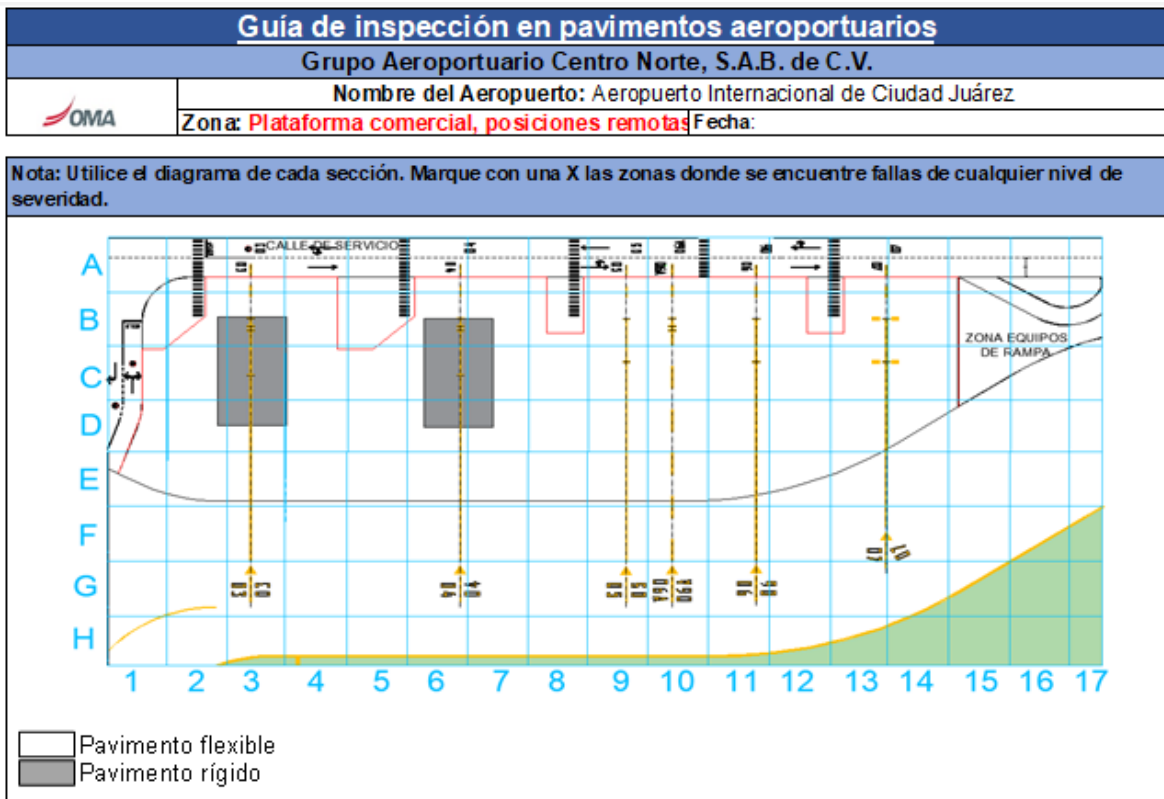
Guía de inspección en pavimentos aeroportuarios								
Grupo Aeroportuario Centro Norte, S.A.B. de C.V.								
	Nombre del Aeropuerto: Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez						Fecha:	
	Zona: Calle de rodaje C							
<p>Nota: Utilice el diagrama de cada sección. Marque con una X las zonas donde se encuentre fallas de cualquier nivel de severidad.</p>								
								
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: white; margin-right: 5px;"></div> Pavimento flexible </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="width: 20px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: gray; margin-right: 5px;"></div> Pavimento rígido </div>								
Fallas para pavimentos rígidos (R)				Fallas para pavimentos flexibles (F)				
R1. Estallidos	R9. Bombeo	F1. Piel de cocodrilo	F9. Derrame de combustible	R2. Rotura de esquina	R10. Desprendimientos, fisuras, erráticas, mapa de fisuras	F2. Exudación	F10. Bacheos	
R3. Fisuras longitudinales, transversales y diagonales	R11. Asentamientos	F3. Fisura de bloque	F11. Agregado pulido	R4. Fisura de durabilidad (D)	R12. Losa fragmentada	F4. Ondulación	F12. Peladura	
R5. Daño en sello de juntas	R13. Fisuras por retracción	F5. Depresión	F13. Ahuellamiento	R6. Bacheos, 5 pie ²	R14. Desprendimiento de junta	F6. Erosión por chorro de turbina	F14. PCC expuesto	
R7. Bacheos- corte por instalación	R15. Desprendimiento en esquina	F7. Reflexión de juntas PCC	F15. Fisuras por deslizamiento	R8. Pérdidas repentinas		F8. Fisuras Long. y transv.	F16. Hinchamiento	
#	Sección	Tipo de pavimento		Tipo de patología	Grado de severidad			Observaciones
		Flexible	Rígido		Bajo	Medio	Alto	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								


Tabla 4.27. Guía de inspección 8/10; Plataforma comercial, posiciones remotas (Autoría propia).



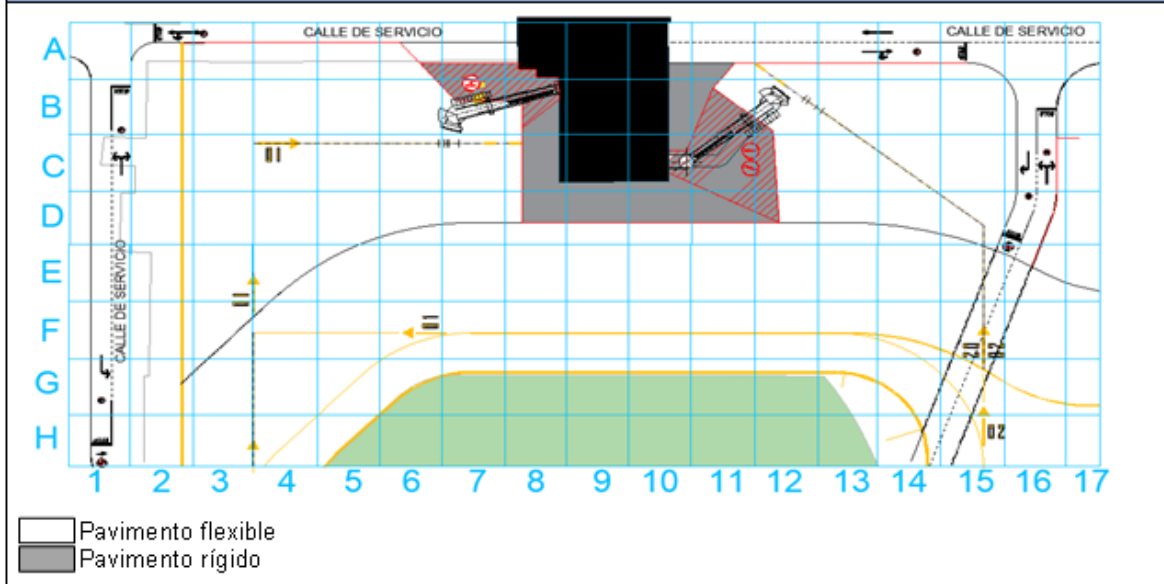
Fallas para pavimentos rígidos (R)		Fallas para pavimentos flexibles (F)	
R1. Estallidos	R9. Bombeo	F1. Piel de cocodrilo	F9. Derrame de combustible
R2. Rotura de esquina	R10. Desprendimientos, fisuras, erráticas, mapa de fisuras	F2. Exudación	F10. Bacheos
R3. Fisuras longitudinales, transversales y diagonales	R11. Asentamientos	F3. Fisura de bloque	F11. Agregado pulido
R4. Fisura de durabilidad (D)	R12. Losa fragmentada	F4. Ondulación	F12. Peladura
R5. Daño en sello de juntas	R13. Fisuras por retracción	F5. Depresión	F13. Ahuellamiento
R6. Bacheos, 5 pie ²	R14. Desprendimiento de junta	F6. Erosión por chorro de turbina	F14. PCC expuesto
R7. Bacheos- corte por instalación	R15. Desprendimiento en esquina	F7. Reflexión de juntas PCC	F15. Fisuras por deslizamiento
R8. Pérdidas repentinas		F8. Fisuras Long. y transv.	F16. Hinchamiento

#	Sección	Tipo de pavimento		Tipo de patología	Grado de severidad			Observaciones
		Flexible	Rígido		Bajo	Medio	Alto	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Tabla 4.28. Guía de inspección 9/10; Plataforma comercial, posiciones de contacto (Autoría propia).

Guía de inspección en pavimentos aeroportuarios	
Grupo Aeroportuario Centro Norte, S.A.B. de C.V.	
	Nombre del Aeropuerto: Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez
Zona: Plataforma comercial, posiciones de cont Fecha:	

Nota: Utilice el diagrama de cada sección. Marque con una X las zonas donde se encuentre fallas de cualquier nivel de severidad.



Fallas para pavimentos rígidos (R)		Fallas para pavimentos flexibles (F)	
R1. Estallidos	R9. Bombeo	F1. Piel de cocodrilo	F9. Derrame de combustible
R2. Rotura de esquina	R10. Desprendimientos, fisuras, erráticas, mapa de fisuras	F2. Exudación	F10. Bacheos
R3. Fisuras longitudinales, transversales y diagonales	R11. Asentamientos	F3. Fisura de bloque	F11. Agregado pulido
R4. Fisura de durabilidad (D)	R12. Losa fragmentada	F4. Ondulación	F12. Peladura
R5. Daño en sello de juntas	R13. Fisuras por retracción	F5. Depresión	F13. Ahuellamiento
R6. Bacheos, 5 pie ²	R14. Desprendimiento de junta	F6. Erosión por chorro de turbina	F14. PCC expuesto
R7. Bacheos- corte por instalación	R15. Desprendimiento en esquina	F7. Reflexión de juntas PCC	F15. Fisuras por deslizamiento
R8. Pérdidas repentinas		F8. Fisuras Long. y transv.	F16. Hinchamiento

#	Sección	Tipo de pavimento		Tipo de patología	Grado de severidad			Observaciones
		Flexible	Rígido		Bajo	Medio	Alto	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Tabla 4.29. Guía de inspección 10/10; Complementario (Autoría propia).

Guía de inspección en pavimentos aeroportuarios									
Grupo Aeroportuario Centro Norte, S.A.B. de C.V.									
		Nombre del Aeropuerto: Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez						Fecha:	
		Zona:		Tipo de patología	Grado de severidad			Observaciones	
#	Sección	Flexible	Rígido		Bajo	Medio	Alto		
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49									

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Según los datos presentados se concluye que es evidente un problema dentro de los pavimentos del área de movimientos del Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez, las raíces del problema del deterioro proceden de varios aspectos, como lo es el clima, el diseño, las cargas, el tráfico, mal mantenimiento, material inadecuado, etc. Ya que no se hace un análisis a detalle de la causa de la falla, ya que solo se calafatea para poder cumplir con los lineamientos mínimos de operación.

Con apoyo del cuestionario al personal se logró realizar el método KANO, con base en tres atributos; uso, reparación y mantenimiento. El resultado de la aplicación del cuestionario referente al parámetro del uso alcanzó un 45.45% de la opción de indiferente y 45.45% en reversa, esto significa que el personal involucrado no le interesa este atributo o bien no entendieron la pregunta. Por otro lado, en relación con el parámetro de reparaciones se obtuvo un porcentaje más alto, alcanzando un 54.55% en atractivo por lo que el personal considera que las reparaciones son importantes y deben realizarse fácilmente. Por último, en el parámetro de mantenimiento el porcentaje más alto fue 31.82% en indiferente, este puede ser porque no les interesa o bien el porcentaje que respondió indiferente es el personal que no se encarga del mantenimiento por lo que no hay interés en ello.

Debido a que al crecimiento de la población aeroportuaria se encuentra en aumento, que es notable en los últimos años, se puede predecir que tanto en

pasajeros como en flota de aeronaves seguirá en aumento, por lo que se debe tener una infraestructura aeroportuaria adecuada para poder soportar la demanda con buenas condiciones, evitando en lo posible el deterioro de pavimentos o cierre de zonas por un daño mayor. El análisis actual de PCI arrojó un valor de 20; mientras que para la cabecera se obtuvo un valor de 21 y de 14 para la plataforma comercial; esto implica que ambas zonas de pavimentos se consideran pobres.

Durante el periodo de investigación y determinación de la situación actual, se lograron identificar las características de las fallas para pavimentos tanto flexibles como rígidos, además de evaluar las fallas que se presentan con mayor frecuencia en el aeropuerto. De lo anterior se puede concluir la ausencia de técnicas específicas para el correcto mantenimiento de fallas en los pavimentos. A su vez, se logró identificar la pronta degradación de los materiales aplicados en las fallas corregidas y diversos factores latentes, por ejemplo, con potencial FOD, que podrían poner en riesgo la operación de la aeronave

Las inspecciones que se están realizando actualmente en el aeropuerto son muy generales, por lo tanto, no son adecuadas para los pavimentos del Aeropuerto CJS, ya que son las aplicadas a todo el grupo de OMA. Por esta y muchas razones mostradas dentro del proyecto se observa la necesidad de trabajar con una guía de inspección práctica y exclusiva del Aeropuerto de Ciudad Juárez, que permita identificar de manera puntual la falla, la ubicación, la severidad, y las características, etc. De acuerdo con las fallas que se identificaron en este aeropuerto, con esto se cumple el objetivo principal del proyecto.

5.2. Listado de recomendaciones

Las recomendaciones se realizan en base a la investigación realizada para este proyecto, estas van dirigidas directamente al aeropuerto de Ciudad Juárez.

- ➔ La capacitación del personal de mantenimiento aeroportuario, para que se logre la detección de fallas de forma oportuna y que las posibles acciones correctivas y/o preventivas se basen en una información sólida y bien fundamentada.
- ➔ Realizar más inspecciones y mantenimientos en los pavimentos aeroportuarios.
- ➔ Contratar más personal de mantenimiento.
- ➔ Realizar un procedimiento para condiciones especiales como nieve, granizo, hielo, lluvia, etc.
- ➔ Realizar un análisis del coeficiente de rozamiento, de la textura y regularidad superficial.
- ➔ Realizar un calefateo para sellar grietas que se presenten, esto como medida de conservación.

5.3. Análisis de ventajas a corto y mediano plazo

Las ventajas a corto plazo de la realización del presente proyecto serian:

- ➔ Menor tiempo de inspección;
- ➔ Identificación fácil de las fallas;

Las ventajas a mediano plazo serian:

- Eficiencia en las operaciones;
- Ahorro económico en el mantenimiento y reparación;
- Alargar la vida útil de los pavimentos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] (Organización de Aviación Civil Internacional) OACI, *Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional Volumen I Diseño y operaciones de aeródromos*. 2016.
- [2] G. Alvarez, “Análisis logístico de la plataforma dentro del Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez y propuesta de mejora,” Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2019.
- [3] C. A. Castro and N. Ahumada, “Propuesta de adecuacion de la pista de aterrizaje y mejora de los servicion del aeropuerto de Medina en Cundinamarca,” 2018.
- [4] Maiti and Bidinger, “Pavimentos aeroportuarios,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 1981.
- [5] N. Marengo, “Fundamiento y evolucion de aeropuertos ante demanda turistica creciente,” p. 283, 1386.
- [6] M. Ruiz Romero, “ASA-50-anos.pdf.” Programa editorial del gobierno de la republica, Mexico, p. 225, 2015.
- [7] M. Ruiz Romero, “Primeras Actividades Aeronáuticas, Nace el Departamento de Aeronáutica Civil,” *50 Años, Aeropuertos y Servicios Auxiliares*. pp. 53–56, 2015.
- [8] O. Organización de Aviación Civil Internacional, *Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional*. 2016.
- [9] OACI, “Doc 9157 AN/901 Manual de diseño de aeródromos - Parte 3: Pavimentos,” no. June. 1983.

- [10] Organización de Aviación Civil Internacional, “Manual de diseño de aeródromos - Parte 2: Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera,” vol. Cuarta, p. 161, 2005.
- [11] OACI. Organización de Aviación Civil Internacional, “Manual de servicios de aeropuertos, Parte 2. Estado de la superficie de los pavimentos,” 2002.
- [12] OACI, “Capítulo I Disposiciones Generales,” pp. 9–12, 2019, [Online]. Available:
<https://www.uladech.edu.pe/images/stories/universidad/documentos/2019/reglamento-instituto-investigacion-v003.pdf>.
- [13] CEMIC, “Sistema Constructivo de la Infraestructura en Aeropuertos Caso Práctico: Construcción de la pista 3 del Nuevo Aeropuerto Internacional de México NAIM,” p. 128, 2018.
- [14] C. Internacional, *La Organización de Aviación Civil Internacional (O. A. C. I.)*, vol. 3, no. 1–2. 1950.
- [15] ““ Análisis logístico de la plataforma dentro del Aeropuerto,” 2019.
- [16] Airbus, “Airport and Maintenance Planning,” p. 397, 2005.
- [17] J. W. Thompson, “Airport planning,” *Landsc. Archit.*, vol. 79, no. 5, pp. 90–91, 1989, doi: 10.1201/9780429294556-4.
- [18] J. Cano, “Gestión De Pavimentos De Aeropuertos Mediante Indicadores De Fisuración Superficial,” *Oa.Upm.Es*, 2017, [Online]. Available: http://oa.upm.es/52690/1/TFM_ABEL_CANO_LECHON.pdf.
- [19] J. G. Atienzo and J. B. Rosales, “Guía de Inspección en Pavimentos Aeroportuarios,” 2008.

- [20] Alejandro Gil Helvat, "Pavimentos Aeroportuarios," *Master en Ing. Caminos Canales y Puertos*, 2016.
- [21] D. C. Sundeeep and S. Sharma, "Diseño de pista y diseño estructural de un pavimento de aeródromo .," pp. 10–27, 2014.
- [22] "1. PCN (CJS)." 2018.
- [23] N. A. 5340-98, "Índice De Condicion De Pavimentos En Aeropuertos Evaluación De Pavimentos De Concreto," pp. 1–21, 2005.
- [24] L. D. C. Públicas and A. Oficial, "DISPOSICIONES GENERALES Capítulo I Disposiciones Generales," vol. 429, no. V, pp. 1–17, 2008.
- [25] F. Airport Engineering Division AAS-, "Subject: Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements for Quick Guide for Maintenance and Repair of Common Rigid Pavement Surface Problems and Quick Guide for Maintenance and Repair of Common Flexible Pavement Surface problems," 2014.
- [26] Secretaria de comunicaciones y transportes de Mexico, "Guía de procedimientos y tecnicas para la conservacion de carreteras en México," *Sct*, p. 1107, 2014, [Online]. Available: <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Guias/guia-carreteras.pdf>.
- [27] P. Irrgang, "Sistemas de Mantenimiento de Pavimentos Rígidos y Flexibles apto para Aeropuertos," 2013.
- [28] S. Villanueva, "Manual Autoinspeccion." Presentacion.

7. ANEXOS Y APÉNDICE

APÉNDICE a. Manual de inspección

Existen cuatro tipos de inspecciones, lo que son las mostradas de la Tabla 7.1 a la 7.9 , inspección diaria, continua, periódica y especial [28].

Tabla 7.1. Manual de Autoinspección Continua OMA, 1 de 2 (Recuperado de [28]).

	MANUAL DE AUTOINSPECCION
--	---------------------------------

LISTA PARA LA INSPECCIÓN CONTINUA

Aeropuerto _____		Fecha: _____		✓	SATISFACTORIAS
				X	INADECUADA
				NA	NO APLICA
ZONA O SISTEMA				OBSERVACIONES	
1	PLATAFORMAS				
	1	Circulación de personas y vehículos en vialidades			
	2	Vehículos estacionados en zonas prohibidas			
	3	Vehículos abandonados en plataforma o cerca de aeronaves			
	4	Vehículos con baliza en buen estado			
	5	Cruces no autorizados			
2	ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE				
	1	Sujetadores en tierra y cables			
	2	Extinguidores portátiles			
	3	Letreros de no fumar			
	4	Posicionamiento de vehículos			
3	CONSTRUCCION EN EL ÁREA DE MOVIMIENTO				
	1	Personal de la constructora debidamente identificado			
	2	Cruzar pistas, calles de rodaje sin autorización			
	3	Incurción en las pistas, calles de rodaje o plataformas			
	4	Circulación de los vehículos de la constructora cuenten sin radio			
	5	Quedan objetos en pista que puedan causar daños a las aeronaves			
	6	Vehículos operando en zonas críticas de ayudas a la navegación			
4	CONTROL DE ACCESOS				
	1	Incurción de personal y vehículos no autorizados			
	2	Puertas funcionando correctamente, libre acceso para CREI			
	3	Señalamientos en los accesos			
	4	Riesgos por accesos de peatones hacia el área de movimiento			
	5	Riesgos en aviación general, zonas frecuentadas por el público			

Tabla 7.2. Manual de Autoinspección Continua OMA, 2 de 2 (Recuperado de [28]).

LISTA PARA LA INSPECCIÓN CONTINUA (CONTINUACIÓN)

Aeropuerto _____		Fecha: _____		<input checked="" type="checkbox"/>	SATISFACTORIAS
				<input type="checkbox"/>	INADECUADA
				<input type="checkbox"/>	NO APLICA
ZONA O SISTEMA					OBSERVACIONES
5	CONTROL DE LOS PELIGROS POR FAUNA RIESGOZA				
1	Presencia de animales dentro del aeropuerto				
2	Indicios de presencia de fauna				
3	Riesgos extremos por fauna				
4	Incidentes por presencia de aves				

NOTA: COMPLEMENTE ESTA INFORMACIÓN CON EL USO DEL PLANO DEL AEROPUERTO

OBSERVACIONES ADICIONALES _____

Realizó la Inspección: El Oficial de Operaciones Superviso: Jefe de Operaciones y Seg. Enterado: Jefe de Mantenimiento Enterado: Administrador del Aeropuerto

 Nombre y Firma Nombre y Firma Nombre y Firma Nombre y Firma

Tabla 7.3. Manual de Autoinspección Diaria OMA, 1 de 3 (Recuperado de [28]).

	MANUAL DE AUTOINSPECCION
--	---------------------------------

LISTA PARA LA INSPECCIÓN DIARIA

Aeropuerto _____		Fecha: _____		✓	SATISFACTORIAS	
				X	INADECUADA	
				NA	NO APLICA	
ZONA O SISTEMA				OBSERVACIONES		
1	ZONAS PAVIMENTADAS					
1	Borde del pavimento entre el margen y franja por encima de 3"					
2	Grietas en pistas o calles de rodaje					
3	Hoyo de 5" de diámetro y 3". de profundidad o mayores en pistas o calles de rodaje					
4	Escamas y fragmentaciones					
5	Elevaciones o depresiones fuera de tolerancia <u>1.5 pendiente</u>					
6	Material desprendido del pavimento					
7	Vegetación en bordes a lo largo de pista o calles de rodaje					
8	Charcos por represas entre el margen y el terreno de la franja					
9	Vegetación en grietas de pista o calle de rodaje					
10	Acumulación de caucho en zonas de contacto					
11	Desgaste por fricción					
12	Objetos extra sobre las pistas y calles de rodaje (FOD)					
2	FRANJAS DE PISTA					
1	Hoyos depresiones, montículos, surcos, erosión					
2	Objetos en franja de pista no frangibles.					
3	Bases de letreros sobresalen del nivel del terreno					
4	Tapas de registro fuera de lugar o fuera de nivel					
5	Daños por roedores y otros animales					
6	Encharcamientos por pendiente inadecuada					
3	SEÑALES Y LETREROS					
1	Señales de pavimento desprendidas, oscurecidas por caucho					
2	Letreros en mal estado, obstruidos, falta de iluminación					
3	Código de colores de letreros fuera de norma					
4	Pintura de señal de punto de espera en mal estado					
5	Letreros con bases fuera de nivel, soportes no frangibles					
6	Faltan letreros					

Tabla 7.4. Manual de Autoinspección Diaria OMA, 2 de 3 (Recuperado de [28]).

LISTA PARA LA INSPECCIÓN DIARIA (CONTINUACIÓN)

ZONA O SISTEMA		OBSERVACIONES
4	LUCES	
1	Luces de borde de pistas	
2	Luces de umbral	
3	Luces de extremo de pista	
4	Luces de toma de contacto	
5	Luces de calles de rodaje	
6	Faro de aeródromo (verificación con visibilidad reducida)	
7	Sistemas indicadores de pendiente de aproximación	
8	Luces indicadoras de dirección de viento (cono)	
9	Sistemas de iluminación de aproximación y destello.	
10	Luces de borde de plataforma (Verificación nocturna)	
11	Luces de obstrucción (Verificación nocturna)	
12	Iluminación de zonas de almacenamiento de combustible	
13	Iluminación de plataforma (verificación nocturna)	
14	Control de intensidad de luces de borde de pista.	
15	Recorrido de noche para verificar la iluminación general	
5	AYUDAS VISUALES PARA LA NAVEGACIÓN	
1	Pintura de la superficie de contraste del cono	
2	Visibilidad del cono inadecuada	
3	Manga en malas condiciones	
4	La manga no se mueve con libertad	
5	Lámpara de señales con falla	
6	Luces de destello (ILS) obstruidas por vegetación	
6	OBSTRUCCIONES	
1	Grúas que representan una obstrucción	
2	Maquinaria que representa un riesgo por obstrucción	
3	Obstrucciones temporales sin balizamiento adecuado	
4	Luces de obstrucción deficiente en edificaciones	
5	Construcciones nuevas próximas a la zona de protección	
7	ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLES	
1	Sujetadores en tierra y cables	
2	Extintores portátiles, letreros indicadores de no	
3	Fugas o derrames	

Tabla 7.5. Manual de Autoinspección Diaria OMA, 2 de 3 (Recuperado de [28]).

LISTA PARA LA INSPECCIÓN DIARIA (CONTINUACIÓN)

ZONA O SISTEMA		OBSERVACIONES
8	CONSTRUCCIÓN	
1	Amontonamientos de tierra, tapiales	
2	Estacionamiento de equipo	
3	Baliza de los equipos	
4	Incurción en las pistas	
5	Coordinación para el cruce de pistas	
6	Material al cruzar pistas o calles de rodaje	
7	Calles de rodaje y de acceso libres de obstáculos	
9	RESCATE Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS	
1	Personal disponible	
2	Disponibilidad de equipos	
3	Sistemas de comunicación	
4	Sistema de alarmas	
10	CONTROL DE LOS PELIGROS POR FAUNA RIESGOSA	
1	Atractivos para el desarrollo de fauna dentro del aeropuerto	
2	Presencia de Animales dentro del aeropuerto	
3	Animales muertos	

NOTA: COMPLEMENTE ESTA INFORMACIÓN CON EL USO DEL PLANO DEL AEROPUERTO

OBSERVACIONES ADICIONALES _____

Realizó la Inspección: El Oficial de Operaciones Superviso: Jefe de Operaciones y Seg. Enterado: Jefe de Mantenimiento Enterado: Administrador del Aeropuerto

Nombre y Firma Nombre y Firma Nombre y Firma Nombre y Firma

Tabla 7.6. Manual de Autoinspección Periódica OMA, 1 de 2 (Recuperado de [28]).

	MANUAL DE AUTOINSPECCION
--	---------------------------------

LISTA PARA LA INSPECCIÓN PERIÓDICA

Aeropuerto _____ Fecha: _____		<input checked="" type="checkbox"/>	SATISFACTORIAS
		<input type="checkbox"/>	INADECUADA
		<input type="checkbox"/>	NO APLICA
ZONA O SISTEMA		OBSERVACIONES	
1	ZONAS PAVIMENTADAS		
1	Acumulación de caucho en zonas de contacto,		
2	Grietas baches hoyos, fragmentaciones.		
3	Desgaste por fricción		
2	FRANJAS DE PISTA		
1	Crecimiento de hierba próximas a las ayudas visuales		
2	Hierba próximas a las luces de borde de pista		
3	SEÑALES Y LETREROS		
1	Señalamiento no visibles en condiciones de visibilidad reducida		
2	Señales no visibles por acumulación de caucho en zona de contacto		
4	ILUMINACIÓN.		
1	Pruebas a las plantas de emergencia		
2	Control de intensidad de la iluminación de pistas		
3	Lámparas sucias.		
4	Lámparas y letreros sucios		
5	Inspección de nocturna o con visibilidad reducida		
5	AYUDAS VISUALES.		
1	Falta verificación de la nivelación del sistema PAPI		
2	Luces del cono de viento filtros opacos		
3	Operación de las luces del PAPI		
4	Deterioro de la manga del cono de viento		
6	OBSTRUCCIONES.		
1	Árboles y estructuras en trayectoria de aproximación		
2	Obstáculos no frangibles en la parte nivelada de la franja de pista		

Tabla 7.7. Manual de Autoinspección Periódica OMA, 2 de 2 (Recuperado de [28]).

LISTA PARA LA INSPECCIÓN PERIÓDICA (CONTINUACIÓN)

Aeropuerto _____		Fecha: _____		<input checked="" type="checkbox"/>	SATISFACTORIAS
				<input type="checkbox"/>	INADECUADA
				<input type="checkbox"/>	NO APLICA
		ZONA O SISTEMA			OBSERVACIONES
7	ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLES.				
	1	Inspección a los vehículos que dan el servicio		<input type="checkbox"/>	
	2	Extintores con carga incompleta en vehículos		<input type="checkbox"/>	
	3	Letreros de no fumar		<input type="checkbox"/>	
	4	Sujetadores en tierra		<input type="checkbox"/>	
8	RESCATE Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS				
	1	Tiempos de respuesta.		<input type="checkbox"/>	
	2	Prácticas de respuesta en frío.		<input type="checkbox"/>	

NOTA: COMPLEMENTE ESTA INFORMACIÓN CON EL USO DEL PLANO DEL AEROPUERTO

OBSERVACIONES ADICIONALES _____

Realizó la Inspección: El Oficial de Operaciones Superviso: Jefe de Operaciones y Seg. Enterado: Jefe de Mantenimiento Enterado: Administrador del Aeropuerto

 Nombre y Firma Nombre y Firma Nombre y Firma Nombre y Firma

Tabla 7.8. Manual de Autoinspección Especial OMA, 1 de 2 (Recuperado de [28]).

	MANUAL DE AUTOINSPECCION
--	---------------------------------

LISTA PARA LA INSPECCIÓN ESPECIAL

Aeropuerto _____	Fecha: _____	✓	SATISFACTORIAS
		X	INADECUADA
		NA	NO APLICA
ZONA O SISTEMA			OBSERVACIONES
1 ZONAS PAVIMENTADAS (después de una tormenta o Huracán)			
1 Acumulación de agua/ profundidad			
2 Objetos extraños sobre la pista, calles de rodaje, plataforma			
3 Pavimentos cubiertos de lodo			
4 Luces de borde de pista o calles de rodaje dañadas			
2 FRANJAS DE PISTA (después de un huracán o tormenta)			
1 Estado general de los letreros			
2 Tapas de registros fuera de lugar			
3 PAPI, ILS, indicador de dirección de viento con falla			
4 Coladeras obstruidas			
3 ZONAS PAVIMENTADAS (Después de un accidente)			
1 Daños en pista			
2 Retirada la aeronave que no existan objetos extraños			
3 Daños en pistas o calles de rodaje causados por el traslado			
4 Luces de umbral, borde pista, extremo de pista , con daños			
4 FRANJAS DE PISTA (Después de un accidente)			
2 Daños en franja por el accidente			
2 Retirada la aeronave quedan objetos extraños			
5 EDIFICACIONES (después de un sismo)			
1 Estado general de los edificios por cuarteaduras			
2 Pavimentos de uso aeronáutico dañados			
3 Ductos de suministro de agua dañados			
4 Alumbrado en edificios con falla			
5 Ayudas visuales luminosas con falla			
6 Luces de obstrucción			
7 Ductos de combustible con fuga			

Tabla 7.9. Manual de Autoinspección Especial OMA, 2 de 2 (Recuperado de [28]).

MANUAL DE AUTOINSPECCION			
NOTA: COMPLEMENTE ESTA INFORMACIÓN CON EL USO DEL PLANO DEL AEROPUERTO			
OBSERVACIONES ADICIONALES			

Realizó la Inspección: El Oficial de Operaciones	Superviso: Jefe de Operaciones y Seg.	Enterado: Jefe de Mantenimiento	Enterado: Administrador del Aeropuerto
_____ Nombre y Firma	_____ Nombre y Firma	_____ Nombre y Firma	_____ Nombre y Firma