



# Operación del Airbus A380 en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México

---

**De Jesús Nicolás Emilio Fidel Alberto  
Luna Zúñiga Rodrigo Uri  
Zamora Flores Ricardo**



# Índice

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Situación problemática</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2 Objetivo general</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3 Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>1.4 Preguntas de investigación</b> .....	<b>15</b>
<b>1.5 Justificación</b> .....	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 Historia del A380</b> .....	<b>18</b>
2.1.1 Creación y desarrollo del A380 .....	18
2.1.2 Características generales del A380 .....	19
<b>2.2 Perspectiva económica del sector aeronáutico</b> .....	<b>19</b>
2.2.1 Pronóstico de la oferta y la demanda de servicios aéreos del A380 .....	19
<b>2.3 Historia del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM)</b> .....	<b>20</b>
2.3.1 La Terminal 2 .....	23
2.3.2 Datos generales y actualidad del AICM.....	23
2.3.3 Datos de Operación.....	24
<b>2.4 Historia del Aeropuerto Internacional de Guadalajara (AIG)</b> .....	<b>25</b>
2.4.1 Datos generales y actualidad del AIG.....	26
2.4.2 Datos de operación .....	26
<b>2.5 Historia del Aeropuerto Internacional de Cancún (AIC)</b> .....	<b>26</b>
2.5.1 Concesión .....	27
2.5.2 Datos generales y actualidad del AIC .....	28
2.5.3 Datos de operación .....	29
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA</b> .....	<b>30</b>
<b>CAPÍTULO IV. DESARROLLO DE LA PROPUESTA</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1 Datos técnicos del A380</b> .....	<b>31</b>

<b>4.2 Datos técnicos de los aeropuertos .....</b>	<b>34</b>
4.2.1 Características técnicas del AICM (Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México) .....	34
4.2.2 Características técnicas del AIG (Aeropuerto Internacional de Guadalajara) .....	36
4.2.3 Datos técnicos del Aeropuerto Internacional de Cancún (AIC) .....	38
<b>4.3 Análisis de las pistas .....</b>	<b>40</b>
4.3.1 Distancias declaradas de las pistas .....	41
<b>4.4 Corrección de pistas por elevación, temperatura y pendiente. ....</b>	<b>42</b>
<b>4.5 Limitación al peso máximo de despegue para el A380 en función de las distancias declaradas. ....</b>	<b>43</b>
<b>4.6 Distancias requeridas para el aterrizaje .....</b>	<b>45</b>
4.6.1 Distancias requeridas para el aterrizaje del A380 en el AICM .....	46
4.6.2 Distancias requeridas para el aterrizaje del A380 en el AIG .....	47
4.6.3 Distancias requeridas para el aterrizaje del A380 en el AIC .....	48
<b>4.7 Calles de salida rápida .....</b>	<b>49</b>
4.7.1 Cálculo de la distancia requerida al aterrizaje en función de la velocidad de aproximación .....	49
4.7.2 Corrección de distancia de frenado por elevación y temperatura .....	50
4.7.2.1 Corrección de distancia de frenado por elevación y temperatura para el AICM .....	50
4.7.2.2 Corrección de distancia de frenado por elevación y temperatura para el AIG .....	51
4.7.2.3 Corrección de distancia de frenado por elevación y temperatura para el AIC .....	52
4.7.3 Calles de salida rápida de los aeropuertos .....	53
4.7.3.1 Calles de salida rápida del AICM .....	53
4.7.3.2 Calles de salida rápida del AIG .....	56
4.7.3.3 Calles de salida rápida del AIC .....	58
<b>4.8 Resistencia del Pavimento .....</b>	<b>60</b>
4.8.1 Comparativo del ACN del A380 con el PCN de los aeropuertos .....	62
4.8.1.1 Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) .....	62
4.8.1.2 Aeropuerto Internacional de Guadalajara (AIG) .....	71
4.8.1.3 Cálculo del ACN del A380 para el AIC .....	78
<b>4.9 Análisis de la geometría de las calles de rodaje .....</b>	<b>85</b>
4.9.1 Calle de rodaje .....	85
4.9.2 Curvas de las calles de rodaje .....	89
4.9.2.1 Análisis y comparación de las curvas de enlace de las calles de rodaje del AICM .....	95
4.9.2.2 Análisis y comparación de las curvas de enlace de las calles de rodaje del AIG .....	105
4.9.2.3 Análisis y comparación de las curvas de enlace de las calles de rodaje del AIC .....	108
4.9.3 Superficies de enlace .....	109
4.9.3.1 Superficies de enlace modificadas en el AICM .....	119
4.9.3.2 Superficies de enlace modificadas en el AIG .....	122
4.9.3.3 Superficies de enlace modificadas en el AIC .....	125
<b>4.10 Márgenes .....</b>	<b>127</b>
4.10.1 Márgenes de las pistas .....	127

4.10.1.1	Márgenes de las pistas 05R/23L y 05L/23R del AICM .....	128
4.10.1.2	Márgenes de las pistas del AIG y del AIC .....	132
4.10.2	Márgenes de las calles de rodaje .....	134
4.10.2.1	Márgenes de las calles de rodaje del AICM .....	135
4.10.2.2	Márgenes de las calles de rodaje del AIG y del AIC .....	142
<b>4.11</b>	<b>Análisis de plataforma .....</b>	<b>143</b>
4.11.1	Plataforma del AICM .....	144
4.11.2	Plataforma del AIG .....	146
4.11.3	Plataforma del AIC .....	148
<b>4.12</b>	<b>Análisis del área de pasajeros de la Terminal 2 del AICM .....</b>	<b>150</b>
 <b>CAPITULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>158</b>
<b>5.1</b>	<b>Análisis de los resultados del estudio realizado acerca de la infraestructura del AICM .....</b>	<b>158</b>
5.1.1	Pistas .....	158
5.1.2	Calles de rodaje .....	160
5.1.3	Plataforma de la terminal 2 (T2) .....	165
<b>5.2</b>	<b>Análisis de los resultados del estudio realizado acerca de la infraestructura del AIG .....</b>	<b>165</b>
5.2.1	Pistas .....	165
5.2.2	Calles de rodaje .....	167
5.2.3	Plataforma de la terminal de carga del AIG .....	169
<b>5.3</b>	<b>Análisis de los resultados del estudio realizado acerca de la infraestructura del AIC.....</b>	<b>170</b>
5.3.1	Pistas .....	170
5.3.2	Calles de rodaje .....	172
5.3.3	Plataforma de la terminal 2 del AIC .....	176
 <b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>178</b>
 <b>REFERENCIAS.....</b>		<b>182</b>
 <b>ANEXO 1 “GRAFICAS DE LIMITACIÓN AL PESO DE DESPEGUE” .....</b>		<b>184</b>

## Relación de tablas

Tabla 1 "Pesos de las distintas configuraciones del A380" .....	32
Tabla 2 "Dimensiones generales del A380" .....	32
Tabla 3 "Datos técnicos generales del AICM" .....	34
Tabla 4 "Instalaciones y servicios de escala del AICM" .....	34
Tabla 5 "Instalaciones y servicio para los pasajeros del AICM" .....	34
Tabla 6 "Datos técnicos generales del AIG" .....	36
Tabla 7 "Instalaciones y servicio de escala del AIG" .....	36
Tabla 8 "Instalaciones y servicio para los pasajeros del AIG" .....	36
Tabla 9 "Datos técnicos generales del AIC" .....	38
Tabla 10 "Instalaciones y servicio de escala del AIC" .....	38
Tabla 11 "Instalaciones y servicio para los pasajeros del AIC" .....	38
Tabla 12 "Distancias declaradas de las pistas del AICM" .....	41
Tabla 13 "Distancias declaradas de las pistas del AIG" .....	41
Tabla 14 "Distancias declaradas de las pistas del AIC" .....	41
Tabla 15 "Corrección de pistas por elevación, temperatura y pendiente" .....	42
Tabla 16 "Peso Máximo de despegue del AICM" .....	44
Tabla 17 "Peso Máximo de despegue del AIG" .....	44
Tabla 18 "Peso máximo de despegue del AIC" .....	45
Tabla 19 " Velocidad de aproximación contra peso máximo de aterrizaje" .....	46
Tabla 20 " Distancia requerida para el aterrizaje en el AICM" .....	47
Tabla 21 " Distancia requerida para el aterrizaje en el AIG" .....	48
Tabla 22 " Distancia requerida para el aterrizaje en el AIC" .....	49
Tabla 23 "Distancia requerida para el frenado" .....	50
Tabla 24 "Corrección por elevación y temperatura de la distancia requerida para el frenado en el AICM" .	51
Tabla 25 "Distancias requeridas para el cálculo de las calles de salida rápida del AICM" .....	51
Tabla 26 "Corrección por elevación y temperatura de la distancia requerida para el frenado en el AIG" ....	52
Tabla 27 "Corrección por elevación y temperatura de la distancia requerida para el frenado en el AIC" ....	52
Tabla 28 ""Distancias requeridas para el cálculo de las calles de salida rápida del AIC" .....	53
Tabla 29 " Parámetros de clasificación del PCN" .....	60
Tabla 30 "Dimensiones de las pistas y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AICM".....	67
Tabla 31 "Dimensiones de las pistas y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AICM".....	67
Tabla 32 "Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AICM" .....	68
Tabla 33 "Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AICM".....	69
Tabla 34 "Superficie, resistencia de las plataformas y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AICM" 70	
Tabla 35 "Superficie, resistencia de las plataformas y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AICM" 70	
Tabla 36 "Dimensiones de las pistas y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AIG" .....	75
Tabla 37 "Dimensiones de las pistas y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIG" .....	75
Tabla 38"Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AIG".....	76
Tabla 39 "Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIG".....	76
Tabla 40 "Superficie, resistencia de las plataformas y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AIG" ..	77

Tabla 41 "Superficie, resistencia de las plataformas y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIG" ..	77
Tabla 42 "Dimensiones de las pistas y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AIC" .....	82
Tabla 43 "Dimensiones de las pistas y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIC" .....	82
Tabla 44 "Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AIC" .....	83
Tabla 45.1 "Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIC" .....	83
Tabla 46 "Superficie, resistencia de las plataformas y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AIC" ..	84
Tabla 47 "Superficie, resistencia de las plataformas y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIC" ..	84
Tabla 48 "Separación mínima entre calle de rodaje y pista, calle de rodaje y objeto" .....	87
Tabla 49 "Radios de giro del A380" .....	90
Tabla 50 "Dimensiones y separación angular de las curvas que conectan las calles de rodaje de la trayectoria de rodaje del A380 si realiza un aterrizaje por la pista 05R" .....	97
Tabla 51 "Dimensiones y separación angular de las curvas que conectan las calles de rodaje de la trayectoria de rodaje del A380 si realiza un aterrizaje por la pista 23L" .....	98
Tabla 52 "Dimensiones y separación angular de las curvas que conectan las calles de rodaje de la trayectoria de rodaje del A380 si realiza un despegue por la pista 05R" .....	98
Tabla 53 "Dimensiones y separación angular de las curvas que conectan las calles de rodaje de la trayectoria de rodaje del A380 si realiza un despegue por la pista 23L" .....	99
Tabla 54 "Superficie de enlace total requerida para el AICM" .....	121
Tabla 55 "Superficie de enlace total requerida para el AIG" .....	124
Tabla 56 "Superficies requeridas para el ensanchamiento de los márgenes de la pista 05R/23L" .....	128
Tabla 57 "Superficies requeridas para el ensanchamiento de los márgenes de la pista 05L/23R" .....	130
Tabla 58.1 "Superficies requeridas de pavimento para ensanchar las calles de rodaje a 60 m" .....	135
Tabla 59 " Áreas de la Terminal 2" .....	154

## Relación de Figuras

<i>Figura 1 "Dimensiones generales del A380"</i> .....	33
<i>Figura 2 "Plano del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM)"</i> .....	35
<i>Figura 3 "Plano del Aeropuerto Internacional de Guadalajara"</i> .....	37
<i>Figura 4 "Plano del Aeropuerto Internacional de Cancún"</i> .....	39
<i>Figura 5 "Limitación del peso máximo de despegue en condiciones ISA estándar con motores TRENT 9000"</i> .....	43
<i>Figura 6 "Velocidad de aproximación final en función del peso de aterrizaje (CG al29% de MAC)"</i> .....	45
<i>Figura 7 "Longitud del campo de aterrizaje en función del peso de aterrizaje a una altitud de 10 360 ft" ....</i>	46
<i>Figura 8 "Longitud del campo de aterrizaje en función del peso de aterrizaje a una altitud de 8 000 ft" .....</i>	47
<i>Figura 9 ""Longitud del campo de aterrizaje en función del peso de aterrizaje a una altitud de 2 154 ft" .....</i>	48
<i>Figura 10 "Distancias requeridas para el aterrizaje en pistas 05R y 05L"</i> .....	54
<i>Figura 11 "Distancias requeridas para el aterrizaje en pistas 23L y 23R"</i> .....	55
<i>Figura 12 "Distancias requeridas para el aterrizaje en la pista 10"</i> .....	56
<i>Figura 13 "Distancias requeridas para el aterrizaje en la pista 28"</i> .....	57
<i>Figura 14 "Distancias requeridas para el aterrizaje en la pista 12R"</i> .....	58
<i>Figura 15 "Distancias requeridas para el aterrizaje en la pista 30L"</i> .....	59
<i>Figura 16 "Número de clasificación del A380 en el AICM - Pavimento flexible - 43% MAC"</i> .....	63
<i>Figura 17 "Número de clasificación del A380 en el AICM - Pavimento flexible - 41% MAC"</i> .....	64
<i>Figura 18 "Número de clasificación del A380 en el AICM - Pavimento rígido - 43% MAC"</i> .....	65
<i>Figura 19 "Número de clasificación del A380 en el AICM - Pavimento rígido - 41% MAC"</i> .....	66
<i>Figura 20 "Número de clasificación del A380 en el AIG - Pavimento flexible - 43% MAC"</i> .....	71
<i>Figura 21 "Número de clasificación del A380 en el AIG - Pavimento flexible - 41% MAC"</i> .....	72
<i>Figura 22 "Número de clasificación del A380 en el AIG - Pavimento rígido - 43% MAC"</i> .....	73
<i>Figura 23 "Número de clasificación del A380 en el AIG - Pavimento rígido - 41% MAC"</i> .....	74
<i>Figura 24 "Número de clasificación del A380 en el AIC - Pavimento flexible - 43% MAC"</i> .....	78
<i>Figura 25 "Número de clasificación del A380 en el AIC - Pavimento flexible - 41% MAC"</i> .....	79
<i>Figura 26 "Número de clasificación del A380 en el AIC - Pavimento rígido - 43% MAC"</i> .....	80
<i>Figura 27 "Número de clasificación del A380 en el AIC - Pavimento rígido - 41% MAC"</i> .....	81
<i>Figura 28 "Huella del tren de aterrizaje del A380"</i> .....	86
<i>Figura 29 "Separación de las calles de rodaje D y E con la pista, entre ellas y con objetos"</i> .....	88
<i>Figura 30 "Radios de giro del A380"</i> .....	89
<i>Figura 31 " Giro de 135°, Pista - calle de rodaje"</i> .....	91
<i>Figura 32 "Giro de 90°, Pista- calle de rodaje"</i> .....	91
<i>Figura 33 " Giro de 135°, calle de rodaje-calle de rodaje"</i> .....	92
<i>Figura 34 "Giro de 90°, calle de rodaje-calle de rodaje"</i> .....	92
<i>Figura 35 "Configuración de una plataforma de viraje típica"</i> .....	93
<i>Figura 36 "Giro de 180° en pista de 60 m de ancho, con ángulo de giro del tren de nariz de 70°, con empuje asimétrico de los motores y frenos aplicados"</i> .....	94
<i>Figura 37 "Dimensiones de las curvas que unen a las calles de rodaje desde D hasta H"</i> .....	99
<i>Figura 38 "Dimensiones de las curvas que unen a las calles de rodaje entre H y G"</i> .....	100
<i>Figura 39 "Dimensiones de las curvas que unen a las calles de rodaje entre G y E2"</i> .....	100
<i>Figura 40 "Dimensiones de las curvas que unen a las calles de rodaje entre E2 y A5"</i> .....	101
<i>Figura 41 "Dimensiones de las curvas que unen a las calles de rodaje entre A5, E y A4"</i> .....	101
<i>Figura 42 "Dimensiones de las curvas que unen a las calles de rodaje entre A5, PH, A4, B3, A1, E, J Y L"</i> .....	102

Figura 43 "Modificaciones a la plataforma de viraje" .....	102
Figura 44 "Modificación de la curva de enlace de A1-Pista 05R/23L" .....	103
Figura 45 "Modificación de las calles de rodaje para el arribo del A380 a la T2" .....	104
Figura 46 "Corrección de la curvatura de la señal de eje de rodaje de la pista 10/28 y el rodaje A" .....	105
Figura 47 "Corrección de la curvatura de la señal de eje de rodaje de la pista 10/28 y el rodaje J" .....	105
Figura 48 "Rodajes F, D y C" .....	106
Figura 49 "Rodaje A→A2→Posición 14-A" .....	106
Figura 50 "Pista 10→Rodaje A" .....	107
Figura 51 "Rodaje A→A-2→Posición 14-A" .....	107
Figura 52 "Expresiones y símbolos relativos a aeronaves (Aeronave con tren de aterrizaje principal de cuatro patas)" .....	111
Figura 53 "Expresiones y símbolos relativos al diseño de las calles de rodaje y superficies de enlace" .....	111
Figura 54 "Ángulo de guía ( $\beta$ ) y desviación ( $\lambda$ ) del centro del tren de aterrizaje principal" .....	113
Figura 55 "Aumento del ángulo de guía durante un viraje" .....	114
Figura 56 "Disminución del ángulo de guía al final del viraje" .....	115
Figura 57 "Diseño de una superficie de enlace de una calle de rodaje con cambio de dirección de 90° para la operación del A380" .....	116
Figura 58 "Superficies de enlace sugeridas por Airbus para curvas de conexión entre calles de rodaje con cambio de dirección de 90°" .....	117
Figura 59 "Viraje de 90° entre las calles de rodaje E y B3 del AICM" .....	118
Figura 60 "Superficies de enlace corregidas (B3-E, B3-L, A4-E, A4-L, PH-E Y PH-L) .....	119
Figura 61 "Superficies de enlace PH-E derecha e izquierda" .....	120
Figura 62 "Superficie de enlace A1-PISTA 05R/23L" .....	120
Figura 63 "Superficies de enlace de la intersección entre la pista 10/28 y la calle de rodaje A en el umbral 10" .....	122
Figura 64 "Superficies de enlace de la intersección entre la pista 10/28 y la calle de rodaje A en el umbral 28" .....	123
Figura 65 "Superficies de enlace de la intersección entre las calles de rodaje A y A2, y la intersección entre la calle de rodaje A2 y la plataforma de carga" .....	123
Figura 66 "Superficie de enlace del rodaje A que intersecta la pista 12R/30L en el umbral 30" .....	125
Figura 67 "Trayectoria de la rueda exterior del tren principal del A380 en un viraje de 90° sobre calle de rodaje A del AIC" .....	125
Figura 68 "Rutas de acceso y salida de la posición 25 y superficie de enlace D1-C1" .....	126
Figura 69 "Márgenes actuales y propuestos de una sección de la pista 05R/23L" .....	129
Figura 70 "Márgenes de 75 m de las pistas 05R/23L y 05L/23R" .....	131
Figura 71 "Distancia de los motores externos al margen interno de la pista 12R/30L del AIC" .....	133
Figura 72 "Rodaje D del umbral 23L al rodaje H" .....	137
Figura 73 "Rodaje D desde el rodaje H hasta el rodaje G" .....	138
Figura 74 "Rodaje D desde el rodaje G hasta el rodaje E" .....	138
Figura 75 "Rodaje E desde el rodaje D hasta el rodaje E2" .....	139
Figura 76 "Rodaje D desde el rodaje E2 hasta el rodaje E1" .....	139
Figura 77 "Rodaje A5 y D desde el rodaje E1 hasta el rodaje E" .....	140
Figura 78 "Calles de rodaje que permiten el arribo o el desalojo de las posiciones 55A y 57A de la terminal dos (T2)" .....	141
Figura 79 "Calles de rodaje que permitirían el arribo o el desalojo del A380 de la pista 05R/23L .....	141
Figura 80 "Márgenes de rampa" .....	144

Figura 81 "A380 en posición 55A y B777 en posición 57A (tomado de Google Earth del año 2007" .....	145
Figura 82 "A380 en posición 55A y B777 en posición 57A (tomado de Google Earth del año 2009" .....	145
Figura 83 "Vista en planta de las posiciones 55A y 57A ocupadas por un A380 y B777 respectivamente" ..	146
En la figura 84 se observa que la posición 14A cumple con los requerimientos de espacio que establece el fabricante (Figura 84 "Márgenes de rampa"). Las áreas achuradas indican las secciones que ocuparían los pasillos telescópicos si los hubiera. ....	146
Figura 85 "Posición 14A ocupada por el A380" .....	147
Figura 86 "Márgenes de la posición 25" .....	149
Figura 87 "Posición 25 ocupada por el A380" .....	149
Figura 88 "Diseño atípico de una terminal de pasajeros bajo el concepto de muelles/dedos".....	151
Figura 89 "Configuración del Dedo Norte y Sur de la terminal 2, así como las posiciones remotas y la plataforma Tango" .....	152
Figura 90 "Superficie de la sala de última espera de la posición 54 a la 60" .....	155
Figura 91 "Ruta para llegar a posición de toma de contacto efectuando un aterrizaje por la pista 05R" ....	160
Figura 92 "Ruta para llegar a posición de toma de contacto efectuando un aterrizaje por la pista 23L" ....	161
Figura 93 "Ruta hacia el umbral de la pista 05R para efectuar un despegue saliendo de las posiciones 55A y 57A" .....	162
Figura 94 "Ruta hacia el umbral de la pista 23L para efectuar un despegue saliendo de las posiciones 55A y 57A" .....	163
Figura 95 "Ruta para llegar a posición de toma de contacto 14A efectuando un aterrizaje por la pista 10 ó por la pista 28".....	167
Figura 96 "Ruta para arribar a los umbrales 10 y 28 desde la posición 14A" .....	168
Figura 97 " Señales de eje de calle de rodaje para procedimiento de salida de la posición 14-A".....	168
Figura 98 "Ruta de arribo a la posición 25 desde el umbral 30L efectuando un aterrizaje por la pista 12R" .....	172
Figura 99"Ruta de arribo a la posición 25 desde el umbral 12R efectuando un aterrizaje por la pista 30L".....	173
Figura 100 "Ruta para arribar al umbral 12R desde la posición 25" .....	174
Figura 101 "Ruta para arribar al umbral 30L desde la posición 25".....	175
Figura 0102 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05R), condiciones ISA +15 (15.49°C de referencia) con motores TRENT 900" .....	185
Figura 0103 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05R), condiciones ISA +15 (15.49°C de referencia) con motores GP 7200".....	186
Figura 104 "Corrección de altitud por temperatura de referencia del AICM".....	187
Figura 105 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05R), condiciones locales (26°C de referencia) con motores TRENT 900" .....	188
Figura 106 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05R), condiciones locales (26°C de referencia) con motores GP 7200".....	189
Figura 107 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05L), condiciones ISA estándar (0.49°C de referencia) con motores TRENT 900" .....	190
Figura 108 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05L), condiciones ISA estándar (0.49°C de referencia) con motores GP 7200".....	191
Figura 109"Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05L), condiciones ISA +15 (15.49°C de referencia) con motores TRENT 900" .....	192
Figura 110 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05L), condiciones ISA +15 (15.49°C de referencia) con motores GP 7200" .....	193
Figura 111 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05L), condiciones locales (26°C de referencia) con motores TRENT 900" .....	194

Figura 112"Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05L), condiciones locales (26°C de referencia) con motores GP 7200" .....	195
Figura 113"Limitación del peso máximo de despegue en el AIG (pista 10/28), condiciones ISA estándar (5.2°C de referencia) con motores TRENT 900" .....	196
Figura 114 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIG (pista 10/28), condiciones ISA estándar (5.2°C de referencia) con motores GP 7200" .....	197
Figura 115"Limitación del peso máximo de despegue en el AIG (pista 10/28), condiciones ISA +15 (20.2°C de referencia) con motores TRENT 900" .....	198
Figura 116 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIG (pista 10/28), condiciones ISA +15 (20.2°C de referencia) con motores GP 7200" .....	199
Figura 117 "Corrección de altitud por temperatura de referencia del AIG" .....	200
Figura 118 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIG (pista 10/28), condiciones locales (31°C de referencia) con motores TRENT 900" .....	201
Figura 119 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIG (pista 10/28), condiciones locales (31°C de referencia) con motores GP 7200" .....	202
Figura 120 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIC (pista 12R/30L), condiciones ISA estándar (15°C de referencia) con motores TRENT 900" .....	203
Figura 121 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIC (pista 12R/30L), condiciones ISA estándar (15°C de referencia) con motores GP 7200" .....	204
Figura 122 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIC (pista 12R/30L), condiciones ISA +15 (30°C de referencia) con motores TRENT 900" .....	205
Figura 123 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIC (pista 12R/30L), condiciones ISA +15 (30°C de referencia) con motores GP 7200" .....	206
Figura 124 "Corrección de altitud por temperatura de referencia del AIC" .....	207
Figura 125 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIC (pista 12R/30L), condiciones locales (31°C de referencia) con motores TRENT 900" .....	208
Figura 126 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIC (pista 12R/30L), condiciones locales (31°C de referencia) con motores GP 7200" .....	209



## Introducción

Los avances en investigación tecnológica han llevado a la innovación de los medios de transporte, de forma que diariamente se encuentran en desarrollo nuevos aparatos e instrumentos que hacen cada vez más simple, rápido y cómodo transportarse de un lugar a otro. Con la evolución de los medios y la tecnología que requieren, es necesario que exista también una actualización de la infraestructura y los procedimientos que involucran. En la industria aeronáutica, esta situación es especialmente complicada, ya que poner en funcionamiento toda la tecnología que le corresponde necesita infraestructura particularmente grande y procedimientos precisos y complicados; la adaptación de una innovación supone entonces una revisión exhaustiva de qué se tiene y qué se ha de conseguir para poder integrar el cambio para hacer un sistema más eficiente.

La demanda de medios de transporte debido al crecimiento de la población y la expansión territorial global ha crecido de forma exponencial en los últimos años. La capacidad de movilizar grandes masas de forma eficiente puede considerarse evidencia del desarrollo de un país; de esta manera podemos ver cómo aeropuertos de ciudades en auge económico como Beijing tienen la capacidad de albergar diariamente millones de personas en instalaciones que pueden ofrecer hasta más de 300 hangares en comparación con los 42 con los que cuenta el aeropuerto de la Ciudad de México.

Actualmente con la creciente demanda del transporte aéreo se ha creado la infraestructura necesaria para realizar operaciones seguras y eficientes, sin embargo diversos factores como la falta de planeación de crecimiento, aspectos económicos o políticos éstos no han podido ser puestos a prueba en nuestro país.

En la industria aeronáutica, uno de los desarrollos tecnológicos de mayor renombre, que no ha podido ser adaptado a la infraestructura aeronáutica en México, es la construcción de la aeronave Airbus 380, el cual es actualmente el avión para pasajeros más grande del mundo. En sus primeros 3 años de servicio ha trasladado alrededor de 15 millones de pasajeros, o bien, en otras palabras el A-380 despegue o aterriza en algún lugar del mundo cada 10 minutos.

Estudios realizados por la International Air Transport Association (IATA) y la European Aeronautic Defence and Space Company (EADS) señalan que la aviación comercial muestra una tendencia de crecimiento tal que prevé que la demanda de transporte aéreo se duplique en los próximos 20 años; esto presenta el reto de crear la infraestructura necesaria que soporte dicho crecimiento. La opción de transportar a más pasajeros con la misma cantidad de operaciones obligó a los fabricantes de aeronaves a crear aviones de gran capacidad y eficiencia como el A380.



## Capítulo I. Planteamiento de la investigación

### 1.1 Situación problemática

Según el Anexo 14 (Aeródromos) de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), debido al tamaño del A380, los aeropuertos en los que opera deben ser categoría “F” (Para aeronaves con envergadura de 65m a 80m y una anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal de los 14m hasta los 16m).

Para el A380, la OACI reguló que los aterrizajes y despegues de esta aeronave, deben realizarse en pistas de 60m de ancho. En Estados Unidos, la mayor parte de los aeropuertos posee pistas de 45m de ancho (pensadas para la recepción del Boeing 747). Las pistas de rodaje deben ser de 30.5m de ancho y por otra parte la velocidad de rodaje del avión debe quedar restringida a 24 km/h. De igual manera, la FAA propuso que cuando un A380 esté haciendo uso de una pista paralela a otra, esta pista debe cerrarse mientras el A380 desaloja la pista en uso. Esto ocasionaría un posible congestionamiento aéreo por unos momentos. Igualmente, cuando el A380 realiza un aterrizaje o despegue, no podrá haber ningún otro avión en rodaje sobre alguna pista adyacente.

El Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México en su pista de mayor tamaño cuenta con una longitud de 3985 m y 45m de ancho, lo cual lo ubica en la categoría “E”. Para poder adaptar las operaciones que exige el A380 en este aeropuerto se necesita una actualización en la infraestructura, sin mencionar que su presencia contribuiría a la saturación del creciente flujo de tránsito aéreo.

Por otra parte, de acuerdo con el anexo 6 (Operación de aeronaves) de la OACI:

Para un vuelo que haya de efectuarse de acuerdo con las reglas de vuelo por instrumentos, se seleccionará y especificará al menos un aeródromo de alternativa de destino en el plan operacional de vuelo y en el plan de vuelo ATS, a no ser que:

- a) la duración del vuelo y las condiciones meteorológicas prevalecientes sean tales que exista certidumbre razonable de que a la hora prevista de llegada al aeródromo de aterrizaje previsto y por un período razonable antes y después de esa hora, la aproximación y el aterrizaje puedan hacerse en condiciones meteorológicas de vuelo visual; o
- b) el aeródromo de aterrizaje previsto esté aislado y no existe ningún aeródromo de alternativa de destino apropiado.

Por lo tanto, en esta Investigación tomaremos como aeropuertos alternos al AICM, el Aeropuerto Internacional de Guadalajara (AIG) y el Aeropuerto Internacional de Cancún

(AIC) los cuales analizaremos para determinar si necesitan una modificación para cubrir alguna eventualidad en la operación del A380.

## **1.2 Objetivo general**

Analizar si la infraestructura aeroportuaria mexicana (tomando como base el AICM y como aeropuertos alternos el Aeropuerto Internacional de Guadalajara (AIG) y el Aeropuerto Internacional de Cancún (AIC)) cumplen con las necesidades de operación del A380

## **1.3 Objetivos específicos**

Analizar el área de movimiento (como calles de rodaje, pistas, etc.) del AICM para compararla con las necesidades de operación del A380.

Analizar el área de movimiento de los aeropuertos alternos propuestos para compararla con las necesidades de operación del A380.

Comprobar si el AICM, cumple con los requisitos que establece la OACI para atender alguna eventualidad o emergencia que surja de la operación del A380.

Comprobar si el Aeropuerto Internacional de Guadalajara (AIG) y el Aeropuerto Internacional de Cancún (AIC), cumplen con los requisitos que establece la OACI para cubrir alguna eventualidad o emergencia.

Analizar el área terminal del AICM y determinar si cuenta con la capacidad suficiente para el embarque y desembarque de pasajeros del A380.

## **1.4 Preguntas de investigación**

De acuerdo a lo que anteriormente se expuso surgen las siguientes preguntas motivo de esta investigación:

¿Cuáles son las razones aeroportuarias por las cuales el A380 no opera en el AICM?

¿Cuáles son las diferencias que existen entre la infraestructura con la que cuenta el área de movimiento del AICM y las necesidades de operación del A380?

¿Cuáles son las diferencias que existen entre la infraestructura con la que cuenta el área de movimiento de los aeropuertos alternos propuestos y las necesidades de operación del A380?

¿Cuál es la capacidad actual del AICM para atender alguna eventualidad, y cuáles son las diferencias con los requerimientos de Airbus?

¿Cuál es la capacidad actual de los aeropuertos alternos para atender alguna eventualidad, y cuáles son las diferencias con los requerimientos de Airbus?

¿Cómo debe estar conformada el área terminal del AICM para el embarque y desembarque de pasajeros?

## 1.5 Justificación

### **Relevancia social e implicación práctica**

La aviación en los últimos años ha tenido un importante desarrollo, ésta muestra una tendencia de crecimiento con la cual se prevé que la industria aérea se duplique en las próximas 2 décadas; esto presenta el reto de crear la infraestructura necesaria que soporte dicho crecimiento. La opción de transportar a más pasajeros con la misma cantidad de operaciones obligó a los fabricantes de aeronaves a crear aviones de gran capacidad además de eficientes. El A380 reúne las características anteriores, sin embargo, no todos los aeropuertos cumplen con los requerimientos de operación de dicho avión.

Actualmente el AICM tiene una problemática de saturación en su nivel de operaciones que lo obliga a reducir al mínimo la separación de tiempo entre aeronaves que despegan y aterrizan. Una solución a este problema es la operación de aviones con gran capacidad de transporte de pasajeros.

### **Conveniencia y oportunidad**

Realizar un estudio de las necesidades y especificaciones operativas del A380 y compararlo con la infraestructura con la que cuenta el AICM permitiría a las aerolíneas que cuentan en su flota con este avión generar rutas desde/hacia la Ciudad de México.

### **Utilidad metodológica**

En esta investigación se recopilarán y analizarán las especificaciones operativas del A380 y los requerimientos que establece la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) para ser comparados con la infraestructura que existe actualmente en el AICM. Como objeto secundario y con base en un requerimiento legal también se pretenden analizar como aeródromos de alternativa de destino el Aeropuerto Internacional de Guadalajara (AIG) y el Aeropuerto Internacional de Cancún (AIC).



## Capítulo II. Marco teórico y referencial

### 2.1 Historia del A380

#### 2.1.1 Creación y desarrollo del A380

El A380 nació en 1988 cuando un grupo de ingenieros de Airbus, liderado por Jean Roeder, comenzó a trabajar para un proyecto de un avión de gran capacidad y “vencer” a su principal competidor: el Boeing 747, el cual llevaba la ventaja en los vuelos transoceánicos. Este proyecto tenía el objetivo de reducir los costos de operación en un 15% con relación al Boeing 747-400. Para lograr esta meta, Airbus lanzó un concurso donde participaron sus socios Aérospatiale, Deutsche Aerospace AG, British Aerospace y CASA, con el propósito de obtener nuevos métodos y tecnologías sobre el diseño y construcción de dicha aeronave. El proyecto fue presentado en el *Farnborough International Airshow* (Salón Aeronáutico de Farnborough), en Hampshire, Inglaterra.

En enero de 1993 Boeing, Airbus y otras empresas afines iniciaron un estudio conjunto sobre la viabilidad de un avión conocido como *Very Large Commercial Transport* (Transporte Comercial de Largo Alcance). Sin embargo, estos estudios fueron abandonados dos años más tarde. Boeing perdía su interés debido a que sus analistas pensaban que un proyecto de esta magnitud, requería una inversión millonaria y que aún teniendo el avión concebido, éste sería muy poco rentable.

En 1995 Boeing abandonó el estudio de esta nueva generación de aeronaves conocidas como “*Superjumbo*”. Pero por otra parte, Airbus decidió continuar con su proyecto de crear un avión de gran tamaño y de largo alcance a pesar de la poca demanda que tenían las aerolíneas sobre la compra de este nuevo avión y de los pronósticos negativos que se tenían. Los analistas de Boeing creían que su aeronave Boeing 747 era suficiente para cubrir la demanda y su inversión sería mucho menor, por lo que proponían que era mejor tener aviones más pequeños que pudieran cubrir las mismas rutas aéreas.

Airbus decidió que el A-3XX movilizaría una cantidad mucho mayor de pasajeros que ninguna otra aeronave hasta el momento, por lo que se diseñó con dos pisos en lugar del ya acostumbrado diseño de uno solo. Enfrentándose al panorama negativo de la baja demanda de un avión tan grande, Airbus inició un análisis de mercado que consistió en consultar a las principales líneas aéreas con el capital o las operaciones suficientes para adquirir un ejemplar y así establecer el tamaño de la aeronave. Esto con el fin de utilizar las instalaciones aeroportuarias ya existentes sin la necesidad de realizar cambios que requirieran una gran inversión. Tomando en cuenta este estudio, se decidió que la aeronave no podría medir más de 80m de longitud y envergadura. También se tomó como base el tamaño y peso del Boeing 747, puesto que algunos de los principales aeropuertos lo consideraron como aeronave crítica.

Fue hasta el 19 de diciembre del 2000 cuando Airbus inició el programa para llevar a cabo el proyecto del A-3XX. Fue aquí cuando se le nombró oficialmente A380, supuestamente por ser el número “8” un número de la suerte en los países asiáticos donde el A380 tendría sus principales compradores. En enero del 2002 se empezaron a fabricar sus primeros componentes.

### **2.1.2 Características generales del A380**

El A380 es el avión comercial más grande del mundo en la actualidad, con capacidad para transportar 525 pasajeros en una configuración de tres clases, y hasta 853 en una configuración de clase única que proporciona asientos más amplios que su competidor. En general, el A380 tiene un 50 por ciento más de superficie de suelo que cualquier otro avión de gran capacidad.

Con una autonomía de 8.300 millas náuticas, el A380 es una solución para aliviar la congestión del tráfico en los aeropuertos. Su fuselaje ancho con una gran dimensión tiene una cubierta principal, una cubierta superior y cuenta con dos niveles de pasajeros que están conectados por escaleras fijas en la parte delantera y trasera.

Además de ofrecer confort para un 40 por ciento más de pasajeros, con 50 por ciento menos ruido, el A380 presenta el menor consumo de combustible por asiento, permitiendo a las aerolíneas reducir sustancialmente las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esto permite un crecimiento rentable y sustentable para las próximas décadas.

## **2.2 Perspectiva económica del sector aeronáutico**

Las tendencias durante los últimos decenios indican una fuerte correlación entre la tasa de crecimiento de la economía en conjunto y la tasa de crecimiento del tráfico aéreo. A su vez, el crecimiento del tráfico aéreo impulsa la demanda de aviones nuevos de pasajeros. Las actividades de defensa, seguridad y espacio se guían en mayor medida por la demanda del sector público. El crecimiento en estos sectores está relacionado más estrechamente con los presupuestos públicos, así como con las prioridades estratégicas y las percepciones de amenazas.

### **2.2.1 Pronóstico de la oferta y la demanda de servicios aéreos del A380**

En 2010, el número total de pedidos, incluyendo los ya entregados, aumentó a 234 procedentes de 17 clientes. A lo largo del año 2010, Airbus entregó 18 aviones A380.

Se prevé que el mayor crecimiento económico de los mercados emergentes sea el principal factor para que las flotas de aviones del mundo se dupliquen a lo largo de los 20 próximos años. Además, gran parte de la flota existente en la actualidad será sustituida por aviones que ofrezcan mayor eficiencia en el consumo de combustible y menos emisiones.

Al final de 2010, 41 A380 en servicio habían transportado a casi nueve millones de pasajeros entre 20 aeropuertos alrededor del mundo. Las compañías aéreas confirman que está mejorando su competitividad y rentabilidad.

En 2010, Emirates hizo otro pedido de 32 aviones A380, elevando el total de pedidos a 193. Airbus hizo un gran avance con la firma de un acuerdo de intenciones con una compañía aérea japonesa para el A380.

Airbus entregó 18 A380 durante 2010, gracias a la significativa mejora de los procesos industriales en la producción en serie.

En el mundo hay diversas aerolíneas que en su flota cuentan con el A380 como son: Air France, Emirates Airlines, Lufthansa, Singapore Airlines, Qantas, Korean Air. De las cuales Air France y Lufthansa tienen vuelos desde y hacia México. Estas aerolíneas tienen 6 y 5 operaciones a la semana respectivamente, esto sin tomar en cuenta los vuelos de Lufthansa Cargo y Air France Cargo.

### **2.3 Historia del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM)**

La ciudad de México y las zonas circunvecinas del Estado de México cuentan con el Aeropuerto más importante del país, el cual atiende el 35% de las operaciones aéreas que se realizan en México.

Los primeros acontecimientos de carácter aeronáutico en México tuvieron por escenario esta capital, donde se realizó la primera ascensión aerostática por el francés Eugene G. Robertson el 14 de febrero de 1835, mientras que la primera ascensión hecha por un mexicano fue la de Benito León Acosta el 3 de abril de 1842; el primer vuelo de un dirigible fue efectuado por Richard K. Hamilton el 6 de enero de 1907.

El 6 de julio de 1917 se llevó a cabo el primer vuelo de transporte de correo aéreo en México, viaje que realizó Horacio Ruiz en un biplano Serie “A” transportando valijas de correo entre Pachuca y la Ciudad de México. El aterrizaje se hizo en el aeródromo ubicado en los llanos de Balbuena.

Dicho aeródromo, que desde 1915 había sido puesto en servicio por militares, fue cerrado a las operaciones civiles mientras se construía el nuevo puerto aéreo. Los escasos operadores de la época, incluyendo a la Compañía Mexicana de Aviación, utilizaron un improvisado campo en los llanos de la actual colonia Algarín, donde Juan Guillermo Villasana, Francisco Santarini y Felipe H. García tenían una escuela de vuelo.

En 1928 se inició, en un pequeño espacio del actual campo aéreo, la construcción de la nueva terminal para la aviación civil. Para unirla a la vialidad de la Ciudad se diseñó un

camino desde la antigua salida a Puebla hasta el edificio principal. Para febrero de 1929 ya estaba en servicio y Mexicana de Aviación realizaba normalmente sus operaciones.

El 11 de febrero de 1931 se puso en servicio un sistema de iluminación, que incluía un faro, luces de linderos e iluminación de pistas y plataformas para operaciones nocturnas. En 1929 y 1934 ese recinto aéreo fue utilizado por las siguientes aerolíneas: Compañía Mexicana de Aviación, Corporación Aeronáutica de Transportes, Pickwick Latinoamericana, Aerovías Centrales y Líneas Aéreas Occidentales.

El 11 de abril de 1939, siendo Presidente de la República Lázaro Cárdenas del Río y el titular de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas Melquíades Angulo, así como el jefe del Departamento de Aeronáutica Civil Juan Guillermo Villasana, inauguraron el nuevo edificio del Puerto Aéreo Central y la torre de control.

El 8 de julio de 1943 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto por el cual se declaraba al Puerto Aéreo Central de la Ciudad de México internacional para efectos de entrada y salida de aviones y pasajeros. En 1949 se inició la construcción de la pista 05D-23I, la nueva plataforma, el nuevo edificio terminal, su torre de control y el edificio para autoridades de la terminal aérea. La pista entró en servicio en 1951.

Para 1956, el Aeropuerto Central de la Ciudad de México tenía cuatro pistas en servicio: la 05I-23D, que tenía 2,720 metros de longitud por 40 de anchura; la 05D-23I, que tenía 3,000 x 45 metros, misma que desde su puesta en servicio se consideró la más importante, ya que contaba con sistemas eléctricos para operaciones nocturnas; la pista 13-31 se construyó para relevar a la 14-32 que había quedado próxima a la zona habitada y se utilizaba en caso de vientos cruzados; tenía 2,300 metros de longitud por 40 de anchura. La cuarta pista era la llamada 5 Auxiliar que tenía solamente 759 metros de longitud y la usaban escuelas de vuelo con base en el Aeropuerto Central. La superficie que ocupaba esa pista es actualmente parte de la plataforma de aviación general.

El 2 de diciembre de 1963, el entonces Aeropuerto Central adoptó el nombre de Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM), al año siguiente, el 6 de octubre, el Presidente Adolfo López Mateos inauguró los sistemas de radar y de área de Cerro Gordo, así como el ILS (Sistema de Aproximación por Instrumentos por sus siglas en inglés) del propio aeropuerto, mismos que tardaron algunos años en entrar en servicio permanente y en ser certificados.

A mediados de la década de los sesenta operaban en esta Ciudad las siguientes aerolíneas nacionales: Aeronaves de México, Compañía Mexicana de Aviación, Aerovías del Sur, Servicio Aéreo Gómez Méndez, SAESA, Aeromaya, Aeronaves del Itsmo, Servicio Aéreo Miguel Anaya y Aerovías Ornega; las internacionales: Western Airlines, American Airlines, Eastern Airlines, Pan American, Texas International Airlines, Canadian Pacific, Cubana, Aviateca, Taca, Tan Honduras, Lanica, Lacsá, Avianca, Viasa, Aerolíneas

Peruanas, Ecuatoriana, Varig, Sabena, Alitalia, KLM, Air France, El Al, Lufthansa, Iberia y BOAC.

El 1 de noviembre de 1971 KLM incorporó en sus operaciones regulares el primer Boeing 747 que cubrió la ruta Ámsterdam - México, en tanto que el 20 de octubre de 1974 aterrizó en la capital del país el avión supersónico franco-británico Concorde, el cual realizaba un viaje de exhibición.

El 24 de noviembre de 1978, se inauguró la torre de control "México", que a la fecha sigue en operación.

El 13 de enero de 1994 se publicó en el Diario Oficial de la Federación un acuerdo presidencial por el cual se prohibían a partir del 31 de mayo siguiente las operaciones de aeronaves que no fueran de aerolíneas comerciales o militares en el AICM. El 11 de abril de ese mismo año el Presidente Carlos Salinas de Gortari puso en operación oficialmente las instalaciones de la Terminal Internacional del Aeropuerto de la Ciudad de México.

El 28 de noviembre de 1994 el titular de la SCT, acompañado de los directores de ASA y SENEAM, inauguró el nuevo sistema de radar que da servicio al AICM. Está colocado en el cerro de "El Peñón", el cual permite un control de alta confiabilidad.

Como parte del programa de reestructuración de la red aeroportuaria nacional, para concesionar a la iniciativa privada 35 de las 60 terminales del país, el 1º de noviembre de 1998 el AICM se desincorporó de la red de Aeropuertos y Servicios Auxiliares para conformarse como Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México, S.A. de C.V. (GACM), empresa de participación estatal mayoritaria.

Con la creciente demanda y con el propósito de hacer del AICM uno de los 10 mejores del mundo en calidad, servicios, seguridad y funcionalidad operativa, el 30 de mayo de 2003, el Gobierno Federal anunció la ampliación y modernización de esta terminal aérea para aumentar su capacidad de atención de 20 a más de 32 millones de pasajeros anualmente.

De esta forma, a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Aeropuertos y Servicios Auxiliares y el propio Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, se realizaron obras de ampliación y remodelación en la Terminal 1, en una superficie total de 90,000 metros cuadrados de los cuales 48,000 fueron de construcción nueva y 42,000 de remodelación. En el área operativa, con el propósito de incrementar los niveles de seguridad y eficiencia en las operaciones aéreas, se amplió el Rodaje Coca 2 y el nuevo Rodaje Golfo.

### 2.3.1 La Terminal 2

El programa de ampliación y remodelación del AICM a su máxima capacidad, incluyó la construcción de una nueva Terminal para pasajeros, instalación que permitiría al aeropuerto capitalino incrementar su capacidad de atención de 24 a más de 32 millones de pasajeros anualmente en los siguientes años. La Terminal 2 se creó para atender vuelos nacionales e internacionales y realiza el 43 % de las operaciones aéreas del AICM.

La Terminal 2 se edificó en una superficie de 242, 496 m<sup>2</sup>, consta de un edificio para pasajeros (Dedo Norte, para vuelos internacionales y Dedo Sur, para vuelos nacionales), con 23 posiciones de contacto y siete remotas, estacionamiento para aproximadamente tres mil vehículos, un tren automatizado (Aerotren) para la transportación entre Terminal 1 y Terminal 2, hotel, puentes elevados y nuevas vialidades de acceso y salida.

A fin de facilitar el tránsito de aeronaves en la Terminal 2, se construyeron 426 mil metros cuadrados de plataformas y rodajes, así como un turbosinoducto subterráneo de seis kilómetros de largo, con hidrantes en todas las posiciones de contacto para abastecer directamente de combustible a aviones de cualquier dimensión.

Los pasillos telescópicos son de tecnología moderna y transparentes, con mecanismo automatizado que les permite adaptarse a las características de los aviones. Este edificio cuenta con dos posiciones de contacto, no exclusivas, para recibir al Airbus 380.

Se construyeron 11.5 km de nuevas vialidades que enlazan directamente a la Terminal 2 por medio de dos distribuidores: el D1 que conecta a T1 y T2 con Río Consulado y el D2 que lleva a T2 y T1 directamente desde Viaducto Piedad y Río Churubusco.

La Terminal 2 inició operaciones el 15 de noviembre de 2007, con vuelos de Delta Airlines y Aeromar. Posteriormente, el 15 enero de 2008, se trasladaron al nuevo edificio las compañías Aeroméxico, Aeroméxico Connect, Copa Airlines, Lan Airlines y Continental Airlines. El 26 de marzo de 2008 el Presidente de la República Felipe Calderón Hinojosa inauguró formalmente las nuevas instalaciones del AICM

### 2.3.2 Datos generales y actualidad del AICM

A continuación se presentan los principales datos del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México:

Nombre	Aeropuerto Internacional Benito Juárez
Clave	MEX
Ubicación	Ciudad de México
Fecha de Inauguración	19 de noviembre de 1952
Dirección	Capitán Carlos León S/N Colonia Peñón de los Baños, C.P. 15620, Delegación Venustiano Carranza, México, Distrito Federal

### 2.3.3 Datos de Operación

Posiciones de contacto	56 (33 en T1 y 23 en T2)
Posiciones remotas	41 (T1 y T2)
Avión máximo operable	B747-400, B777-300 (pasajeros), ANTONOV 124-100 (carga), C-5, C-141 (militar)
Pistas	05R-23L y 05L-23R
Operaciones por hora	54 en promedio

En el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, operan aerolíneas nacionales y extranjeras con vuelos regulares, así como charteras y cargueras con destinos nacionales e internacionales. Como son:

- Aerolíneas de Pasajeros

#### **Mexicanas:**

Aeromar, Aeroméxico, Aeroméxico Connect, Interjet, Magnicharters, Vivaaerobus y Volaris.

#### **Extranjeras.**

Aero Republica, Aerolíneas Argentinas, Air Canada, Air France, Alaska Airlines, American Airlines, Avianca, British Airways, Can Jet, Continental Airlines, Copa Airlines, Cubana de Aviación, Delta Airlines, Iberia, KLM, Lacs, LAN Airlines, Lufthansa, TACA, United Airlines y US Airways

- Aerolíneas de carga

#### **Mexicanas:**

Aeromexpress, Aeronaves Tsm, Aeropacífico, Aerounión, Estafeta, Mas Air, Regional Cargo, Starship y Vigojet

#### **Extranjeras:**

Air France Cargo, Aerocaribbean, Aeropostal, Air Cargo Carriers, Air Transport, Amerijet, Ameristar, Atlas Air, Cargolux, Centurion Air Cargo, Cherry Air, Cielos Airlines, Contract Air Cargo, DHL, DHL Guatemala, Gemini Air, Kalita, Lufthansa Cargo, Murray Air, Royal Air Freight, Skyway, Tampa Cargo, UPS, Usajet y Variglog.

A través del AICM, la capital de la República se une con 50 ciudades del país y 40 del extranjero: 17 de Estados Unidos, 4 en Canadá, 6 en Europa, 5 en países centroamericanos y del Caribe, 7 en Sudamérica y una en Asia; atendiendo a más de 26 millones de pasajeros al año.

## 2.4 Historia del Aeropuerto Internacional de Guadalajara (AIG)

El Aeropuerto Internacional de Guadalajara Miguel Hidalgo y Costilla fue construido en 1966 y se inauguró el 01 de agosto de 1968. Se localiza a 16 kilómetros del centro de la ciudad de Guadalajara, en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. Es el tercer aeropuerto más ocupado de México, sólo después del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y del Aeropuerto Internacional de Cancún.

El Aeropuerto Internacional de Guadalajara está compuesto por dos pistas de aterrizaje y dos terminales. Cuenta con vuelos a diversos lugares de México, América Central y Estados Unidos. El aeropuerto forma parte del Grupo Aeroportuario del Pacífico (GAP), que también opera los aeropuertos de Tijuana, Hermosillo, León, Puerto Vallarta, Los Cabos, La Paz, Los Mochis, Morelia, Mexicali, Aguascalientes y Manzanillo.

El proyecto, con un costo global (incluyendo las nuevas pistas de aterrizaje y rodaje) de 126 millones 800 mil pesos, respondió a un esfuerzo que el gobierno federal venía realizando desde tres años atrás, con miras a cubrir las necesidades de aeronavegación de los estados y necesidades de orden nacional e internacional.

En 1965, se creó dentro de la estructura orgánica de la Secretaría de Obras Públicas la Dirección General de Aeropuertos, a efecto de integrar un cuerpo de especialistas dedicado a plantear, proyectar, construir y reconstruir aeropuertos federales. En ese mismo año, por decreto presidencial, se constituyó el organismo Aeropuertos y Servicios Auxiliares con el propósito de administrar y conservar estas instalaciones.

También se formó una comisión de planeación de aeropuertos con el fin de determinar la categoría de cada uno de ellos, sus requerimientos y el orden de prelación para su construcción. Los recursos disponibles permitieron realizar un programa para construir y modernizar 21 aeropuertos, de los cuales nueve fueron internacionales. Al terminar el aeropuerto en Guadalajara, el monto del programa ascendía a los 300 millones de pesos.

Tras la oficial puesta en marcha, las empresas aéreas Mexicana de Aviación y Aeronaves de México contaron con la posibilidad de hacer uso de una pista de cuatro mil metros de longitud por 60 metros de ancho, que era la más grande del País y permitía la operación de los mayores transportes comerciales en vuelos de largo alcance. Además estaba equipada con todos los aditamentos y auxilios para la navegación aérea: instalaciones para combustible, plataformas, zonas de circulación y dispersión, pasillos telescópicos y modernas instalaciones para migración, sanidad y aduana, salas de espera y áreas para concesiones comerciales.

### 2.4.1 Datos generales y actualidad del AIG

A continuación se presentan los principales datos del Aeropuerto Internacional de Guadalajara:

Nombre	Aeropuerto Internacional Miguel Hidalgo y Costilla
Clave IATA	GDL
Ubicación	Ciudad de Guadalajara, Jalisco
Fecha de Inauguración	01 de agosto de 1968
Dirección	Carretera Guadalajara-Chapala Km 17.5 Municipio Tlajomulco de Zúñiga, CP.45659, Guadalajara Jalisco.

### 2.4.2 Datos de operación

Posiciones de contacto	19 posiciones (11 conectadas a terminal)
Avión máximo operable	B747-400, B777-300
Pistas	10-28 y 02-20

En el Aeropuerto Internacional de Guadalajara, operan aerolíneas nacionales y extranjeras con vuelos regulares, así como charteras y cargueras con destinos nacionales e internacionales.

- Aerolíneas de Pasajeros

#### **Mexicanas:**

Aeroméxico, Aeroméxico Connect, Interjet, Magnicharters, Vivaaerobus y Volaris.

#### **Extranjeras.**

Alaska Airlines, American Airlines, American Eagle, Copa Airlines, Delta Airlines, Delta Connection, United Airlines, United Express, US Airways y US Airways Express.

- Aerolíneas de carga

#### **Mexicanas:**

Aerounión y Mas Air.

#### **Extranjeras:**

ABX Air, Air France Cargo, Capital Cargo International Airlines, DHL, FedEx Express, Lufthansa Cargo y, UPS.

## 2.5 Historia del Aeropuerto Internacional de Cancún (AIC)

El Aeropuerto Internacional de Cancún se encuentra a 16 kilómetros de la ciudad de Cancún, en la costa del Caribe sobre la Península de Yucatán. Es el segundo aeropuerto más transitado de México, solo después del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

El aeropuerto se ha remodelado y expandido para convertirse en el aeropuerto con más pasajeros internacionales en el país. Cuenta con dos pistas de aterrizaje operativas a más de 1,500 m de separación, lo que permite que se usen de manera simultánea, y tres terminales comerciales: la Terminal 1 es usada por vuelos chárter procedentes de América del Norte, incluyendo a las aerolíneas chárter locales; la Terminal 2 es usada por algunas aerolíneas internacionales, así como por todas las aerolíneas nacionales y la nueva Terminal 3 se encarga de la mayoría de las operaciones internacionales de aerolíneas de América del Norte y Europa.

El aeropuerto es operado por ASUR (Aeropuertos del Sureste) al igual que los aeropuertos de Cozumel, Mérida, Veracruz, Villahermosa, Oaxaca, entre otros. El aeropuerto fue un centro de conexiones para Aerocancun, Aladia, Mexicana y Mexicana Link.

El aeropuerto inicialmente consistía en una pista inaugurada en 1973 con una torre de control con materiales de la región (palapa). La afluencia masiva en corto tiempo propició su evolución y así, en noviembre inicia la construcción del Aeropuerto Internacional de Cancún por compañía Henro y Asociados S.A., dirigida por el ingeniero José Hernández Robles y José Luis Mitzunaga Martínez como responsable de obra por parte de la Secretaría de Obras Públicas.

En febrero de 1975 se hicieron las pruebas técnicas con un jet de Mexicana, y posteriormente la inauguración oficial a finales del mismo mes. Se contó con la presencia del entonces mandatario del país, Luis Echeverría Álvarez y David Gustavo Gutiérrez Ruiz, gobernador del estado, junto a su sucesor, Jesús Martínez Ross.

En los meses sucesivos empezó la llegada de los vuelos internacionales de Estados Unidos, Europa y Canadá. El aeropuerto tenía dos terminales, una para los vuelos nacionales y extranjeros regulares y la otra para los charteros internacionales que operaban en las temporadas altas del destino. Esta resultó muy dañada tras el paso del huracán Wilma en 2005.

En esa misma zona se ubica la terminal FBO (Fixed Base Operations) para la llegada de vuelos privados de mandatarios de otros países, líderes de organizaciones mundiales y personalidades del espectáculo de talla internacional.

### **2.5.1 Concesión**

Casi 30 años después, el AIC entró a una nueva etapa: en 1997 el gobierno federal privatizó la red aeroportuaria y un año después ASUR inició operaciones. En 1999 inició la remodelación y expansión de la terminal 2, que concluyó en noviembre del 2001.

La remodelación y modernización estuvo a cargo de un equipo colegiado integrado por las áreas de infraestructura, operaciones y de tecnologías de la información en conjunto con la dirección general del Grupo ASUR y la asesoría del aeropuerto de Copenhague.

Al siguiente año se realizó una gran inversión para ampliar área de mostradores de aerolíneas, la zona comercial, salas de última espera y también fue remodelada la fachada

del lado de plataforma. Prosiguió la modernización en llegadas internacionales, el ambulatorio creció de 94 a 114 mostradores de documentación en 2004.

En esas fechas comenzó la construcción de instalaciones del sistema de revisión automatizada del equipaje documentado, pero estos trabajos fueron interrumpidos por el huracán Wilma. El espacio se usó para que la Secretaria de la Defensa Nacional junto con la Cruz Roja recibieran y organizaran la distribución de víveres y medicamentos enviados para los damnificados.

Dos semanas después de Wilma se colocó la primera piedra de la terminal 3 y siguió la construcción del sistema de revisión automatizada. En el año 2006 se convirtió en el primer aeropuerto en América Latina con instalaciones automatizadas y en cumplir al 100% con la normatividad internacional en la revisión de equipajes documentados.

En mayo del 2007 el presidente de México Felipe Calderón Hinojosa inauguró la Terminal 3. El edificio se consideró el mejor del país por su diseño, accesibilidad para todas las personas y por ser amigable con el medio ambiente.

Al siguiente año inició la ampliación de su infraestructura operativa: la segunda pista para operaciones simultáneas como se marcó en el proyecto de los años 70, una nueva torre de control, la reubicación del radar y un puente de rodaje para el paso de aviones por encima del camino de acceso al aeropuerto.

Las remodelaciones continuaron en la Terminal 2: en el área de arribos internacionales se separaron los flujos de llegada y salida de pasajeros conforme a la normatividad internacional. Además se amplió la llegada de vuelos nacionales incrementando de tres a seis las bandas de recolección de equipaje, mientras que en la parte exterior se amplió la zona de andenes para el servicio de precontratación de transporte. En cuanto a servicios en tierra, se construyó una plataforma remota norte para aeronaves con estadía prolongada para disponer de las posiciones cerca de los edificios y así atender un mayor número de vuelos.

### 2.5.2 Datos generales y actualidad del AIC

A continuación se presentan los principales datos del Aeropuerto Internacional de Guadalajara:

Nombre	Aeropuerto Internacional de Cancún
Clave IATA	CUN
Ubicación	Cancún, Quintana Roo
Fecha de Inauguración	Finales de marzo de 1975
Dirección	Carretera Cancún-Chetumal Km 22, Benito Juárez, Estado de Quintana Roo.

### 2.5.3 Datos de operación

Posiciones de contacto	30
Posiciones remotas	10
Avión máximo operable	B747-400, B777-300
Pistas	12R-30L y 12L-30R

En el Aeropuerto Internacional de Cancún, operan aerolíneas nacionales y extranjeras con vuelos regulares, así como charteras y cargueras con destinos nacionales e internacionales.

- Aerolíneas de Pasajeros

#### **Mexicanas:**

Aeromexico, Aerotucán, Interjet, Magnicharters, MAYAir, Vivaaerobus y Volaris.

#### **Extranjeras:**

Aeroflot, Aerolineas Argentinas, Air Berlin, Air Canada, Air Canada Jazz, Air europa, Air France, Air Pullmantur, Air Transat, Air Trans Airways, American Airlines, Frontier Airlines, Avianca, Blue Panorama Airlines, British Airways, Can Jet, Condor, Copa Airlines, Copa Airline Colombia, Cubana de Aviación, Delta Air Lines, Edelweiss Airlines, Finnair, Jetairfly, Jet Blue Airways, LAN Chile, LAN Perú, Maya Island Air, Monarch, Orbest Orizonia Airlines, Spirit Airlines, Sun Country Airlines, Sungwing Airlines, TACA, Thomas Cook UK, Thompson Airways, Transaereo, TUIfly Nordic, United Airlines, US Airways, Virgin America, Virgin Atlantic Airways, West Jet, White Airways, Whitejets, XL Airways France.

- Aerolíneas de carga

#### **Mexicanas:**

Estafeta Carga Aérea y Regional Cargo.

#### **Extranjeras:**

Amerijet International y FedEx Express.

### Capítulo III. Metodología

El primer paso del desarrollo del trabajo será el estudio de lo que en nuestra opinión es la condición más crítica: la longitud de pistas. Para ello necesitamos los datos de longitud de campo de referencia del A380 y utilizaremos el cálculo que establece la OACI para determinar las longitudes de pistas. Después realizaremos el análisis de las distancias que requeriría el A380 para aterrizar, ya que esto será la base para el diseño de la ruta que seguirá el avión en tierra.

El cálculo del ACN (Número de Clasificación de Aeronave por sus siglas en inglés) del A380 nos permitirá compararlos con los datos que establece el PIA (Publicación de Información Aeronáutica) y así determinar qué zonas y qué rutas tomará la aeronave en el aeropuerto sin afectar la estructura del pavimento.

Para el cálculo de los radios de viraje y de las superficies de enlace consideraremos las especificaciones que establece el Anexo 14 “Aeródromos” y del Doc. 9157 “Manual de Diseño de Aeródromos” publicado por la OACI, además de la información que presenta el Manual del fabricante “Airplane Characteristics for Airport Planning” con las cuales serán evaluados las imágenes de los Aeropuertos obtenidas desde *Google Earth*.

Para el análisis del área terminal del AICM tomaremos en cuenta las consideraciones que establece la IATA (International Air Transport Association) sobre el área por pasajero con la que deberá contar la terminal en la zona de última espera y se hará el cálculo de las mismas tomando en cuenta los planos de la Terminal 2.

Para finalizar el estudio se realizará una comparación de la capacidad de CREI (Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios) de cada aeropuerto basándonos en la información del PIA y se determinará si cumple con las especificaciones que establece el Anexo 14 de la OACI de acuerdo a la categoría de la aeronave.

## Capítulo IV. Desarrollo de la propuesta

### 4.1 Datos técnicos del A380

#### **Peso (Definiciones)**

*Peso Vacío (OEW):* Es el peso estructural del avión, motores, sistemas y aditamentos que forman parte integral del avión incluyendo fluidos atrapados en los sistemas, combustible no utilizable, aceite lubricante de motores y UPA (Unidad de Potencia Auxiliar), aceite para los IDG, toboganes, extintores, cuerdas de escape, hacha, botiquines de primeros auxilios, chalecos salvavidas, caperuzas contra humo, equipo de oxígeno para pasajeros, altoparlantes, botellas de oxígeno personales, ganchos para ropa, la estructura de las cocinas con sus aditamentos y equipo fijo de entretenimiento.

*Peso de operación:* Es el peso vacío del avión más el de la comida caliente, bebidas y utensilios, personal de tripulación, maletines y equipaje de la tripulación, desodorante para baños, agua potable y equipamiento de baños (toallas, pañuelos desechables, jabón, etc.).

*Peso máximo en rampa (MRW) / Peso máximo de rodaje (MTW):* Es el peso máximo de diseño para maniobras en tierra (incluyendo el peso de combustible para el rodaje y arranque de motores).

*Peso máximo de despegue (MTOW):* Es el peso máximo de diseño con el cual puede iniciar la carrera de despegue.

*Peso máximo de aterrizaje (MLW):* Es el peso máximo de diseño con el cual la aeronave puede aterrizar.

*Peso máximo con cero combustible (MZFW):* Peso máximo de diseño sin combustible utilizable. Es la cantidad máxima de peso que resulta de sumar el peso vacío (OEW) y la carga máxima estimada.

*Carga máxima estimada:* La carga máxima que consiste en pasajeros, equipaje y/o carga. Resulta de la diferencia del peso máximo sin combustible y el peso de operación.

La tabla 1 muestra los distintos pesos máximos que puede tener el A380 en sus distintas configuraciones. Los cálculos que se harán posteriormente no deben de exceder los mostrados en dicha tabla.

*Tabla 1 "Pesos de las distintas configuraciones del A380"*

	VW000	VW001	VW002	VW003	VW004
<b>Peso Máximo en Rampa</b>	562 000kg (1 238998 lb)	512 000 kg (1 128766lb)	571 000 kg (1 258839lb)	512 000 kg (1 128766lb)	562 000 kg (1 238998lb)
<b>Peso Máximo de Rodaje</b>	562 000kg (1 238998 lb)	512 000 kg (1 128766lb)	571 000 kg (1 258839lb)	512 000 kg (1 128766lb)	562 000 kg (1 238998lb)
<b>Peso Máximo de Despegue</b>	560 000 kg (1 234588 lb)	510 000 kg (1 124357lb)	569 000 kg (1 254430lb)	510 000 kg (1 124357lb)	560 000 kg (1 234588lb)
<b>Peso Máximo de Aterrizaje</b>	386 000 kg (850 984 lb)	394 000 kg (868 621 lb)	391 000 kg (862 007 lb)	395 000 kg (870 826 lb)	391 000 kg (862 007 lb)
<b>Peso Máximo con cero Combustible</b>	361 000 kg (795 869 lb)	372 000 kg (820 119 lb)	366 000 kg (806 892 lb)	373 000 kg (822 324 lb)	366 000 kg (806 892 lb)
<b>Peso Vacío</b>	Motores TRENT 900: 270 364 kg (596 050 lb) Motores GP 7270: 270 630 kg (596 637 lb)				
<b>Peso Máximo de Carga(Trent900)</b>	90 636 kg (199 818 lb)	101 636 kg (224 069 lb)	95 636 kg (210 841 lb)	102 636 kg (226 274 lb)	95 636 kg (210841 lb)
<b>Peso Máximo de Carga(GP7200)</b>	90 370 kg (199 232 lb)	101 370 kg (223 483 lb)	95 370 kg (210 255 lb)	102 370 kg (225 687 lb)	95 370 kg (210 255 lb)

## Capacidad volumétrica

La tabla 2 muestra las propiedades inherentes de las capacidades volumétricas del A380 en sus distintas configuraciones.

*Tabla 2 "Dimensiones generales del A380"*

<b>Capacidad estándar de asientos</b>	555
<b>Capacidad de combustible (densidad=0.785Kg/l)</b>	323 546 l (85 472 gal) 253 983 kg (559 937 lb)
<b>Volumen de la parte presurizada del fuselaje (cubierta superior e inferior)</b>	2 100 m <sup>3</sup> (74 161 ft <sup>3</sup> )
<b>Volumen de la cabina de pasajeros (cubierta principal)</b>	775 m <sup>3</sup> (27 369 ft <sup>3</sup> )
<b>Volumen de la cabina de pasajeros (cubierta superior)</b>	530 m <sup>3</sup> (18 717 ft <sup>3</sup> )
<b>Volumen de la cabina de pilotos</b>	12 m <sup>3</sup> (424 ft <sup>3</sup> )
<b>Compartimiento de carga frontal</b>	89.4 m <sup>3</sup> (3 160 ft <sup>3</sup> )
<b>Compartimiento de carga posterior</b>	71.5 m <sup>3</sup> (2 528 ft <sup>3</sup> )

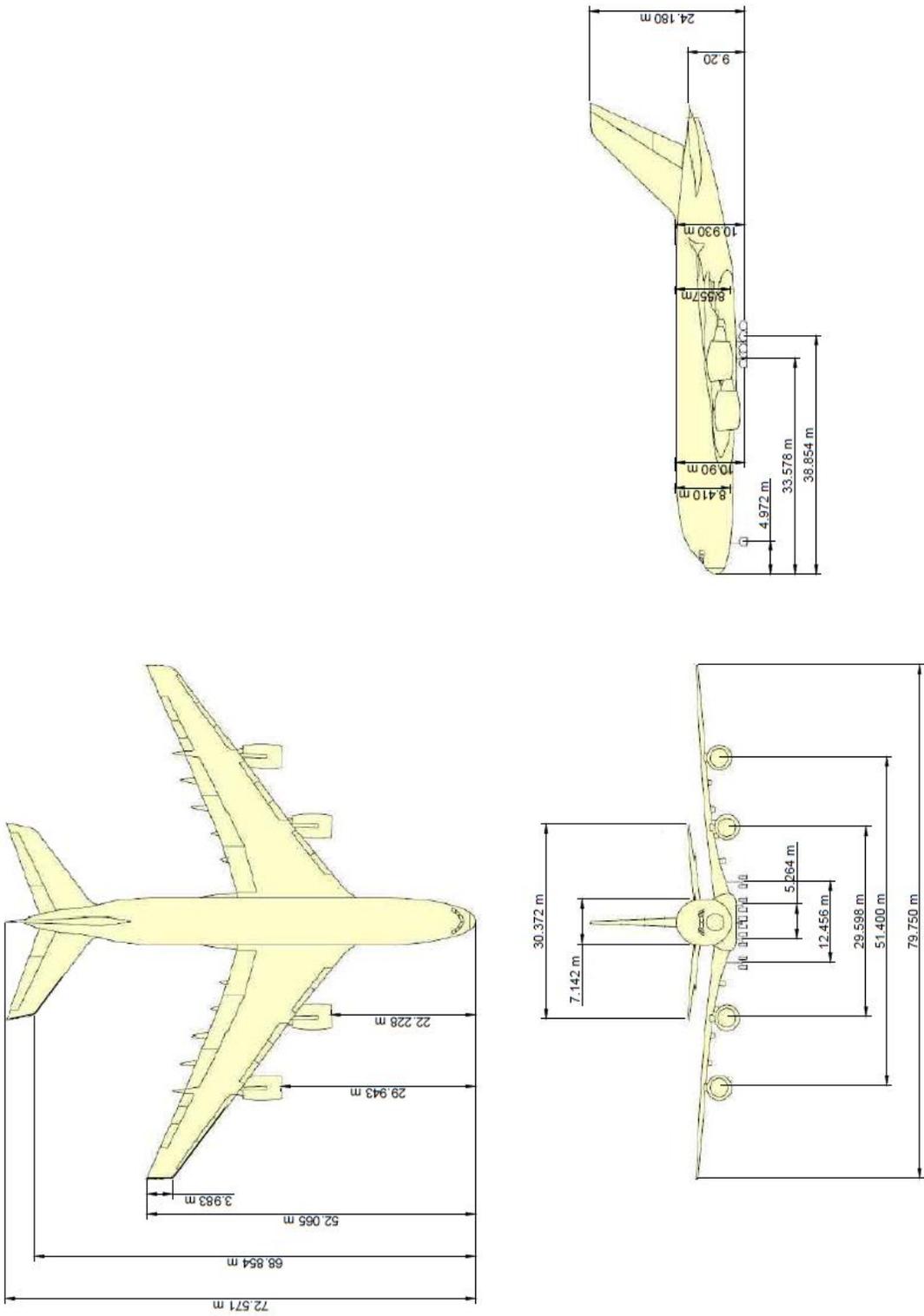


Figura 1 "Dimensiones generales del A380"

## 4.2 Datos técnicos de los aeropuertos

### 4.2.1 Características técnicas del AICM (Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México)

*Tabla 3 "Datos técnicos generales del AICM"*

<b>Nombre OACI</b>	MMMX
<b>Nombre IATA</b>	MEX
<b>Categoría OACI</b>	9
<b>Superficie</b>	7 464 300 m <sup>2</sup>
<b>Elevación</b>	2 230 m (7 316 ft)
<b>Latitud</b>	19° 26'07'' N
<b>Longitud</b>	99° 04'20'' W
<b>Temperatura de referencia</b>	26° C
<b>Variación magnética</b>	7°E
<b>Tipo de transito permitido</b>	IFR
<b>Tiempo de referencia</b>	+6 horas/+5 horas en horario de verano
<b>Horario de operación</b>	24 horas
<b>Operaciones por hora</b>	54
<b>Aeronave crítica</b>	B747-400/B777-300/ANTONOV 124-100
<b>Pistas</b>	05R (derecha)-23L (izquierda) 3 985 m x45 m 05L (izquierda)-23R (derecha) 3 963 m x 45 m
<b>Posiciones de contacto</b>	56 (33 T1 y 23 T2)
<b>Posiciones remotas</b>	41 (T1 y T2)

*Tabla 4 "Instalaciones y servicios de escala del AICM"*

<b>Tipos de combustible</b>	Gasavión 100/130, Turbosina jet A1
<b>Capacidad de abastecimiento</b>	Gasavión: 100 000 L Turbosina: 22 000 000 L
<b>Espacio de hangar para aeronaves visitantes</b>	No disponible
<b>Instalaciones para reparación de aeronaves visitantes</b>	No disponible

*Tabla 5 "Instalaciones y servicio para los pasajeros del AICM"*

<b>Hoteles</b>	Si
<b>Restaurantes</b>	Si
<b>Instalación y servicio médico</b>	Si
<b>Oficinas bancarias y de correos</b>	Si
<b>Oficina de turismo</b>	Si

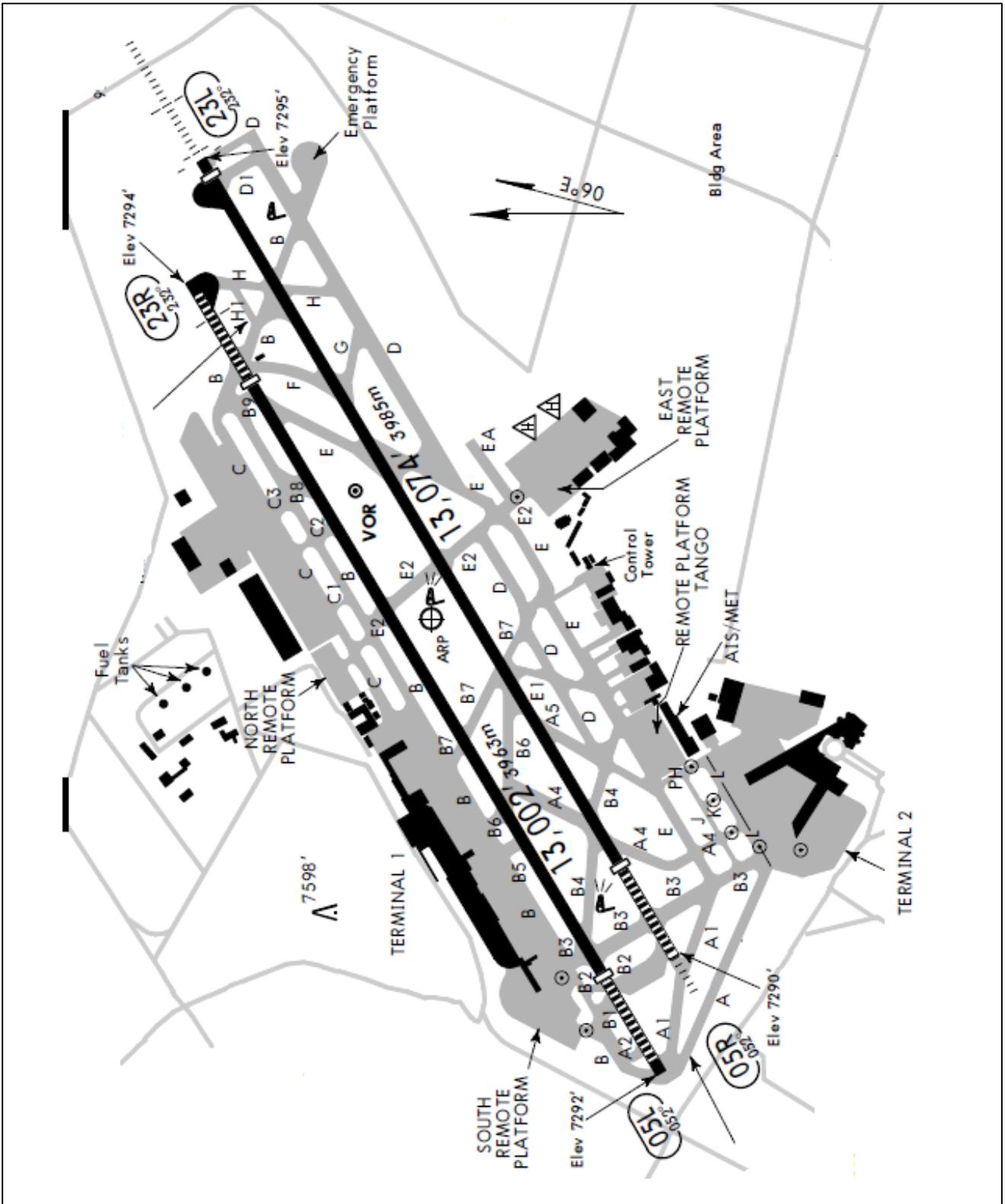


Figura 2 "Plano del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM)"

#### 4.2.2 Características técnicas del AIG (Aeropuerto Internacional de Guadalajara)

A continuación se muestran las características técnicas del AIG.

*Tabla 6 "Datos técnicos generales del AIG"*

<b>Nombre OACI</b>	MMGL
<b>Nombre IATA</b>	GDL
<b>Categoría OACI</b>	6
<b>Superficie</b>	10 623 000 m <sup>2</sup>
<b>Elevación</b>	1 529 m (5 016 ft)
<b>Latitud</b>	20°31'18.61" N
<b>Longitud</b>	103°18'40.12" W
<b>Temperatura de referencia</b>	31° C
<b>Variación magnética</b>	8°E
<b>Tipo de tránsito permitido</b>	IFR/VFR
<b>Tiempo de referencia</b>	+6 horas/+5 horas en horario de verano
<b>Horario de operación</b>	24 horas
<b>Operaciones por hora</b>	40
<b>Aeronave crítica</b>	B747-400/B777-300
<b>Pistas</b>	10-28 (4 000 m x 60 m) 02-20 (1 770 m x 35 m)
<b>Posiciones de contacto</b>	20

*Tabla 7 "Instalaciones y servicio de escala del AIG"*

<b>Tipos de combustible</b>	AVGAS 100/130, Turbosina JET A1
<b>Capacidad de abastecimiento</b>	JET A1 Camión cisterna 10.8 L/seg. Dispensador automotriz 20 L/seg. AVGAS 100/130 Camión cisterna 5 L/seg. 2 dispensadores estacionarios 18.9 L/seg.
<b>Espacio de hangar para aeronaves visitantes</b>	Se cuenta con 2 hangares: MXM para 4 B747-400 y 2 B727-200 AMX para 6 B767-300 Aviación general, capacidad máxima, avión Grumman
<b>Instalaciones para reparación de aeronaves visitantes</b>	Reparación mayor de hasta un B-767-300

*Tabla 8 "Instalaciones y servicio para los pasajeros del AIG"*

<b>Hoteles</b>	Si
<b>Restaurantes</b>	Si
<b>Instalación y servicio medico</b>	Si
<b>Oficinas bancarias y de correos</b>	Si
<b>Oficina de turismo</b>	No disponible

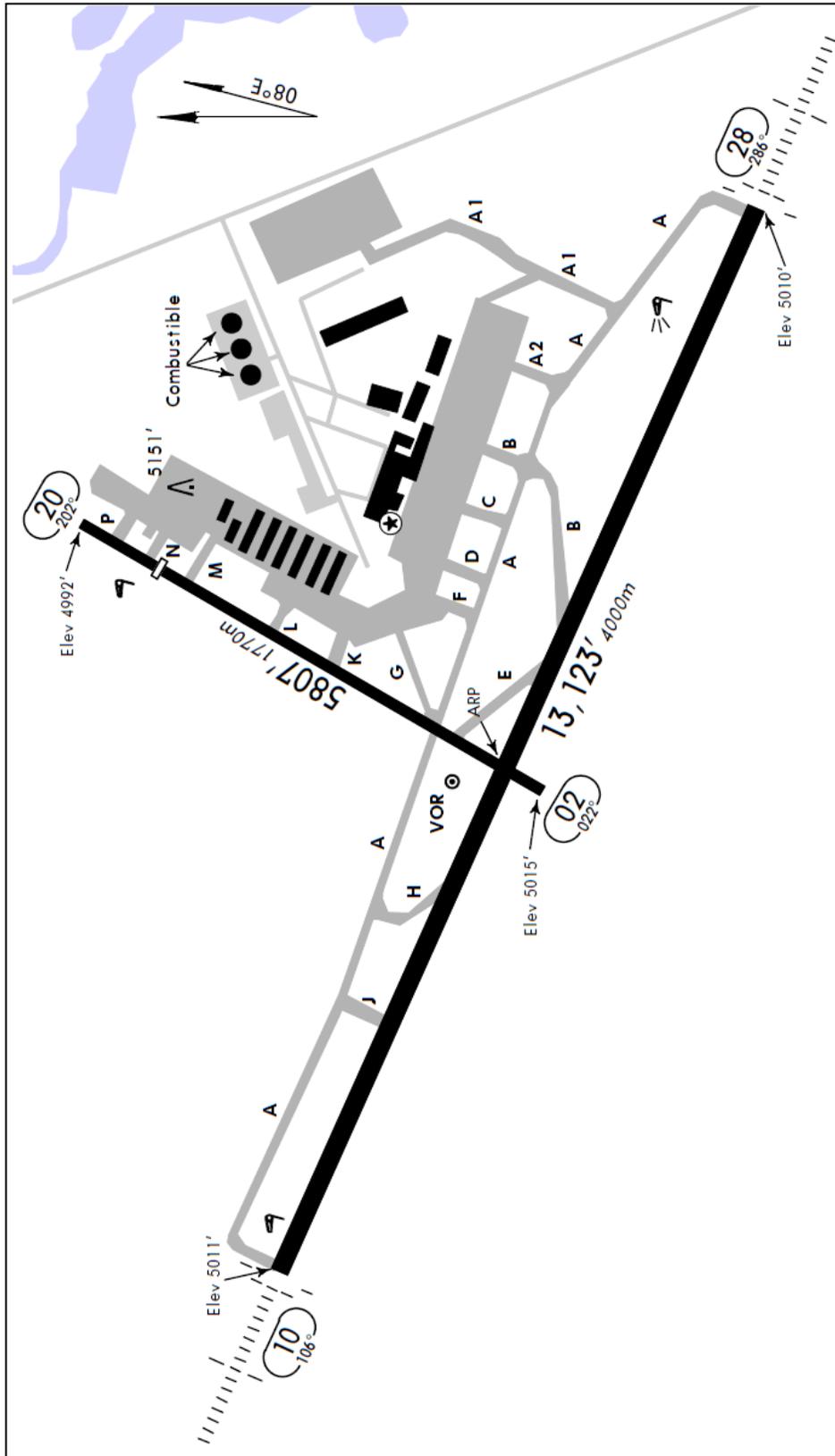


Figura 3 "Plano del Aeropuerto Internacional de Guadalajara"

### 4.2.3 Datos técnicos del Aeropuerto Internacional de Cancún (AIC)

A continuación se muestran las características técnicas del AICM.

*Tabla 9 "Datos técnicos generales del AIC"*

<b>Nombre OACI</b>	MMUM
<b>Nombre IATA</b>	CUN
<b>Categoría OACI</b>	9
<b>Superficie</b>	m <sup>2</sup>
<b>Elevación</b>	6 m (20 ft)
<b>Latitud</b>	21°02'33.87"N
<b>Longitud</b>	086°52'23.52"W
<b>Temperatura de referencia</b>	31° C
<b>Variación magnética</b>	0°
<b>Tipo de tránsito permitido</b>	IFR/VFR
<b>Tiempo de referencia</b>	+6 horas/+5 horas en horario de verano
<b>Horario de operación</b>	24 horas
<b>Operaciones por hora</b>	40
<b>Aeronave crítica</b>	B747-400/B777-300
<b>Pistas</b>	12-30 (3 500 m x 60 m) 12L-30R (2 800 m x 45 m)
<b>Posiciones de contacto</b>	30
<b>Posiciones remotas</b>	10

*Tabla 10 "Instalaciones y servicio de escala del AIC"*

<b>Tipos de combustible</b>	AVGAS 100/130, Turbosina JET A1
<b>Capacidad de abastecimiento</b>	Planta de combustibles de Aeropuertos y Servicios Auxiliares Turbosina JET A1 15 000 000 L. AVGAS 100/130 60 000 L. Se cuenta con un suministro por líneas subterráneas para cada posición en plataforma de aviación general.
<b>Espacio de hangar para aeronaves visitantes</b>	No disponible
<b>Instalaciones para reparación de aeronaves visitantes</b>	No disponible

*Tabla 11 "Instalaciones y servicio para los pasajeros del AIC"*

<b>Hoteles</b>	Disponibles en la ciudad
<b>Restaurantes</b>	Si
<b>Instalación y servicio médico</b>	Si
<b>Oficinas bancarias y de correos</b>	Si
<b>Oficina de turismo</b>	Si

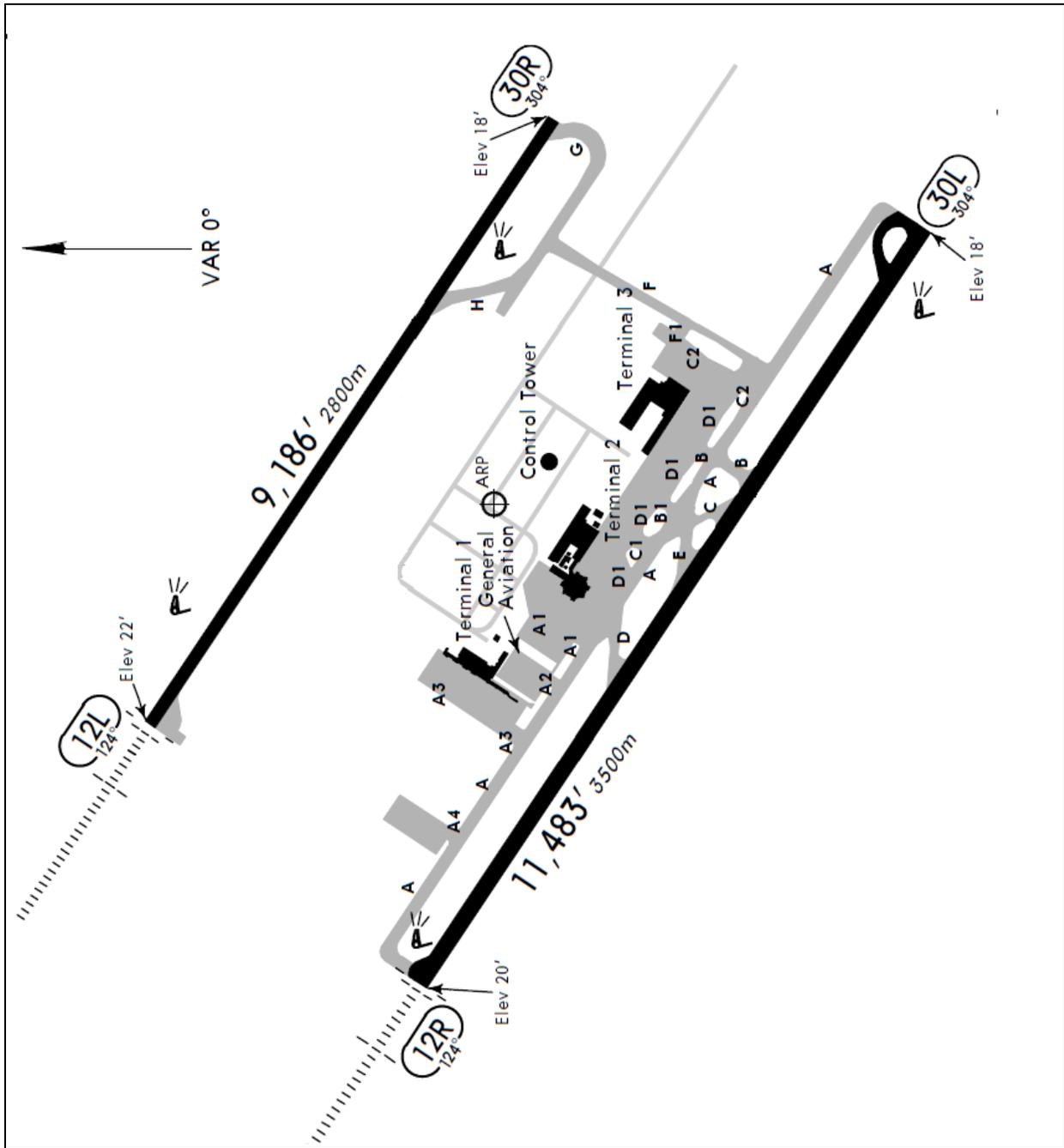


Figura 4 "Plano del Aeropuerto Internacional de Cancún"

### 4.3 Análisis de las pistas

#### **Factores que influyen en la longitud de las pistas**

Los factores que influyen en la longitud de pista son los siguientes:

- a) Características de rendimiento y masas de operaciones de los aviones a los que se prestará servicio.
- b) Condiciones meteorológicas, principalmente viento y temperaturas en la superficie.
- c) Características de la pista tales como pendiente y estado de la superficie.
- d) Factores relacionados con el emplazamiento del aeropuerto (elevación del aeropuerto y limitaciones topográficas)

Cuanto más elevada sea la temperatura, mayor longitud deberá tener la pista requerida ya que las temperaturas elevadas producen menor densidad de aire, reduciendo el empuje de los motores, así como la sustentación. Un avión que despegue en una pendiente ascendente requiere una mayor longitud de pista que si éste se encontrara a nivel o tuviera una pendiente descendente; la longitud requerida dependerá de la elevación del aeropuerto y la temperatura de referencia de éste. Mientras mayor sea la elevación del aeropuerto, mayor será la longitud de pista requerida debido a que la densidad del aire disminuye con la altitud. Por último, la longitud de pista que pueda tener un aeropuerto se verá limitada por el perímetro del terreno o por factores topográficos tales como montañas, el mar o valles profundos.

#### **Longitud efectiva de las pistas**

Al determinar la longitud de pista que ha de proporcionarse, es necesario considerar tanto los requisitos de despegue como los de aterrizaje, así como la necesidad de efectuar operaciones en ambos sentidos de la pista. Entre las condiciones locales que deben considerarse figuran la elevación, temperatura, pendiente de pista, humedad y características de la superficie de la pista.

#### **Distancias declaradas**

La introducción de zonas de parada y zonas libres de obstáculos, y la utilización de umbrales desplazados en las pistas, han creado la necesidad de disponer de información precisa con respecto a las diferentes distancias físicas disponibles y adecuadas para el aterrizaje y el despegue de los aviones. Para este propósito se emplea el término “distancias declaradas” con las cuatro distancias siguientes asociadas a una pista determinada.

- a) TORA (Take-Off Runway Available): Recorrido de despegue disponible. Es la longitud de la pista que se ha declarado disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que despegue.

- b) TODA (Take-Off Distance Available): Distancia de despegue disponible. Es la longitud del recorrido de despegue disponible más la longitud de la zona libre de obstáculos si la hubiera.
- c) ASDA (Accelerate-Stop Distance Available): Distancia de aceleración-parada disponible. Es la longitud de recorrido de despegue más la longitud de zona de parada si la hubiera.
- d) LDA (Landing Distance Available): Distancia de aterrizaje disponible. Es la longitud de la pista que se ha declarado disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que aterrice.

#### 4.3.1 Distancias declaradas de las pistas

Las siguientes tablas muestran las distancias declaradas de cada aeropuerto:

*Tabla 12 "Distancias declaradas de las pistas del AICM"*

Designador	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)
<b>05L</b>	3 457	3 457	3 963	3 478
<b>23R</b>	3 588	3 588	3 963	3 457
<b>05R</b>	3 985	3 985	3 985	3 530
<b>23L</b>	3 905	3 905	3 985	3 905

*Tabla 13 "Distancias declaradas de las pistas del AIG"*

Designador	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)
<b>10</b>	4 000	4 000	4 000	4 000
<b>28</b>	4 000	4 000	4 000	4 000
<b>02</b>	1 770	1 770	1 770	1 770
<b>20</b>	1 770	1 770	1 770	1 470

*Tabla 14 "Distancias declaradas de las pistas del AIC"*

Designador	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)
<b>12R</b>	3 500	3 500	3 500	3 500
<b>30L</b>	3 500	3 500	3 500	3 500
<b>12L</b>	2 800	2 800	2 800	2 800
<b>30R</b>	2 800	2 800	2 800	2 800

#### 4.4 Corrección de pistas por elevación, temperatura y pendiente.

Para determinar la corrección de pistas utilizaremos el concepto de *Longitud de campo de referencia del avión*, el cual se refiere a la longitud de campo mínima necesaria para el despegue con la masa máxima certificada de despegue al nivel del mar, en atmosfera tipo, sin viento y con pendiente de pista cero. La longitud de campo de referencia del A380 es de 3 350 m.

La longitud básica seleccionada para la pista deberá aumentarse a razón del 7% por cada 300 m de elevación del aeropuerto. La longitud de la pista corregida por elevación deberá aumentarse a su vez a razón del 1% por cada grado centígrado que la temperatura de referencia del aeródromo exceda a la temperatura de la atmósfera tipo correspondiente a la elevación del aeródromo. Sin embargo, si la corrección total por elevación y temperatura es superior al 35% las correcciones necesarias deberán obtenerse mediante otro estudio. Las características operacionales de determinados aviones pueden indicar que estas constantes de corrección, por elevación y temperatura, no son adecuadas, y que podría ser necesario modificarlas con base en los resultados que se obtengan en un estudio aeronáutico que tome en consideración las condiciones que existan en el lugar en cuestión y los requisitos operacionales de tales aviones.

Cuando la longitud básica determinada por los requisitos del despegue sea de 900 m o más, dicha longitud deberá aumentarse a su vez a razón de 10% por cada 1% de pendiente de pista determinada.

Se hizo una corrección de la longitud requerida por el A380 para las condiciones atmosféricas de cada aeropuerto (Tabla 15), donde se determinó que no se podría operar la aeronave en función de estos criterios debido a que ningún aeropuerto cumple con las distancias corregidas.

Tabla 15 "Corrección de pistas por elevación, temperatura y pendiente"

Aeropuerto	Corrección por		
	Elevación	Temperatura	Pendiente
Ciudad de México	5 093 m	Excede el 35% (52%)	
Guadalajara	4 545 m	Excede el 35% (35.7%)	
Cancún	3 356 m	3 892 m	3 892 m

Por los motivos expuestos anteriormente se optó por hacer un estudio de las distancias requeridas para la operación del A380 que limiten el peso máximo de despegue de la aeronave en función de las distancias ya declaradas.

#### 4.5 Limitación al peso máximo de despegue para el A380 en función de las distancias declaradas.

En la sección 4.1 “Datos técnicos del A380” se expusieron los pesos máximos de despegue en función de la configuración de la aeronave, sin embargo estos pesos sólo son válidos para condiciones ISA estándar (al nivel medio del mar, 15° C de temperatura, 1 atm de presión). Airbus en su manual “Airplane Characteristics for Airport Planning” sección 3 “Airplane Performance” establece los pesos máximos de despegue en función de la TORA, motores (GP 7200/TRENT 900), altitud y temperatura. En la figura 5 se muestra el peso máximo de despegue en función de los siguientes parámetros:

TORA: 3985 m

Motores: TRENT 900

Condiciones atmosféricas: ISA estándar (0.49° C)

Elevación: 7 316 ft

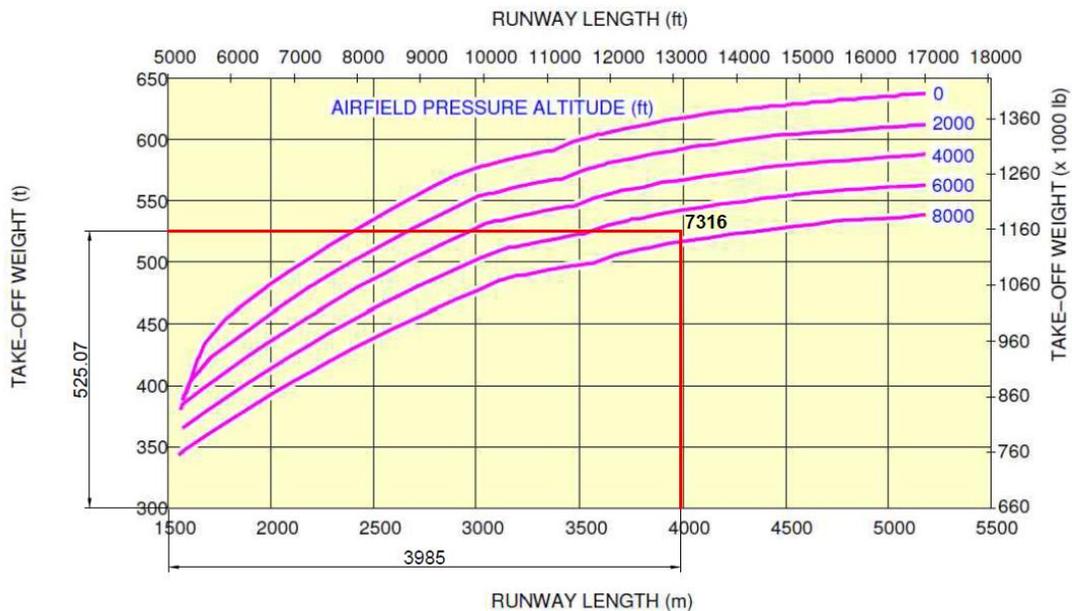


Figura 5 "Limitación del peso máximo de despegue en condiciones ISA estándar con motores TRENT 9000"

Para las condiciones anteriormente descritas (figura 5) se tiene un peso máximo de despegue de 525.07 toneladas (1 157 581.2 Lb).

En la tabla 16 se muestran los pesos máximos de despegue para la pista 05R/23L del AICM, con las dos posibles configuraciones de motores (GP 7200/ TRENT 900) y en condiciones atmosféricas ISA estándar, ISA+15 y condiciones atmosféricas locales de referencia. En el anexo 1 “Gráficas de Limitación del Peso de Despegue” de este documento se muestran la gráficas de donde se obtuvieron los datos de las siguientes tablas.

Tabla 16 "Peso Máximo de despegue del AICM"

PESO MÁXIMO DE DESPEGUE DEL AICM				
PISTA	MOTORES	ISA STD	ISA+15	26° C (Referencia)
05R	GP 7200	522 470 Kg (1 150 814 Lb)	515 310 Kg (1 135 044 Lb)	484 700 Kg (1 067 621 Lb)
	TRENT 900	525 070 Kg (1 157 581 Lb)	518 470 Kg (1 142 004 Lb)	485 890 Kg (1 070 242 Lb)
23L	GP 7200	519 780 Kg (1 144 889 Lb)	512 360 Kg (1 128 546 Lb)	481 950 Kg (1 061 563 Lb)
	TRENT 900	522 890 Kg (1 151 740 Lb)	515 240 Kg (1 134 889 Lb)	483 820 Kg (1 065 682 Lb)

Como se puede observar en la tabla 16, los límites del peso máximo de despegue permisibles en el AICM serán de 481 950 Kg a 525 070 Kg. Sin embargo el peso máximo de despegue variará según la hora del día y la época del año en la que el avión sea despachado. Asimismo si el avión hiciera un vuelo de corto alcance, el A380 tendrá un peso de despegue considerablemente menor que los planteados anteriormente.

En la tabla 17 se muestran los pesos máximos de despegue (Ver anexo 1) para la pista 10/28 del AIG, con las dos posibles configuraciones de motores (GP 7200/ TRENT 900) y en condiciones atmosféricas de ISA estándar, ISA+15 y condiciones atmosféricas locales (31° de temperatura de referencia).

Tabla 17 "Peso Máximo de despegue del AIG"

PESO MÁXIMO DE DESPEGUE DEL AIG				
PISTA	MOTORES	ISA STD	ISA+15	31° C (Referencia)
10/28	GP 7200	550 000 Kg (1 212 542 Lb)	543 000 Kg (1 197 110 Lb)	514 000 Kg (1 133 176 Lb)
	TRENT 900	554 000 Kg (1 221 360 Lb)	547 000 Kg (1 205 928 Lb)	516 000 Kg (1 137 585 Lb)

Como se puede observar en la tabla 17 los límites del peso máximo de despegue permisibles en el AIG serán de 516 000 Kg a 554 000 Kg.

En la tabla 18 se muestran los pesos máximos de despegue para la pista 12D/30I, con las dos posibles configuraciones de motores (GP 7200/ TRENT 900) y en condiciones atmosféricas de ISA estándar, ISA+15 y condiciones atmosféricas locales (31° de temperatura de referencia).

Tabla 18 "Peso máximo de despegue del AIC"

PESO MÁXIMO DE DESPEGUE DEL AIC				
PISTA	MOTORES	ISA STD	ISA+15	31° C (Referencia)
12D-30I	GP 7200	595 300 Kg (1 311 233 Lb)	586 200 Kg (1 291 189 Lb)	563 800 Kg (1 241 850 Lb)
	TRENT 900	597 000 Kg (1 314 997 Lb)	587 300 Kg (1 293 612 Lb)	567 700 Kg (1 250 440 Lb)

Como se puede observar en la tabla 18 los límites del peso máximo de despegue permisibles en el AIC serán de 563 800 Kg a 597 000 Kg.

#### 4.6 Distancias requeridas para el aterrizaje

Aunque normalmente las distancias de aterrizaje no son críticas, deberán consultarse los diagramas de rendimientos de aterrizaje de los aviones para comprobar qué requisitos de longitud de pista para el despegue garantizan una distancia adecuada para el aterrizaje. Por lo general la distancia para el aterrizaje se determina de modo que el avión pueda aterrizar después de haber superado con un margen de seguridad todos los obstáculos en la trayectoria de aproximación con la certeza de que podrá detenerse sin peligro.

#### Cálculo del peso al aterrizaje en función de las velocidades de aproximación

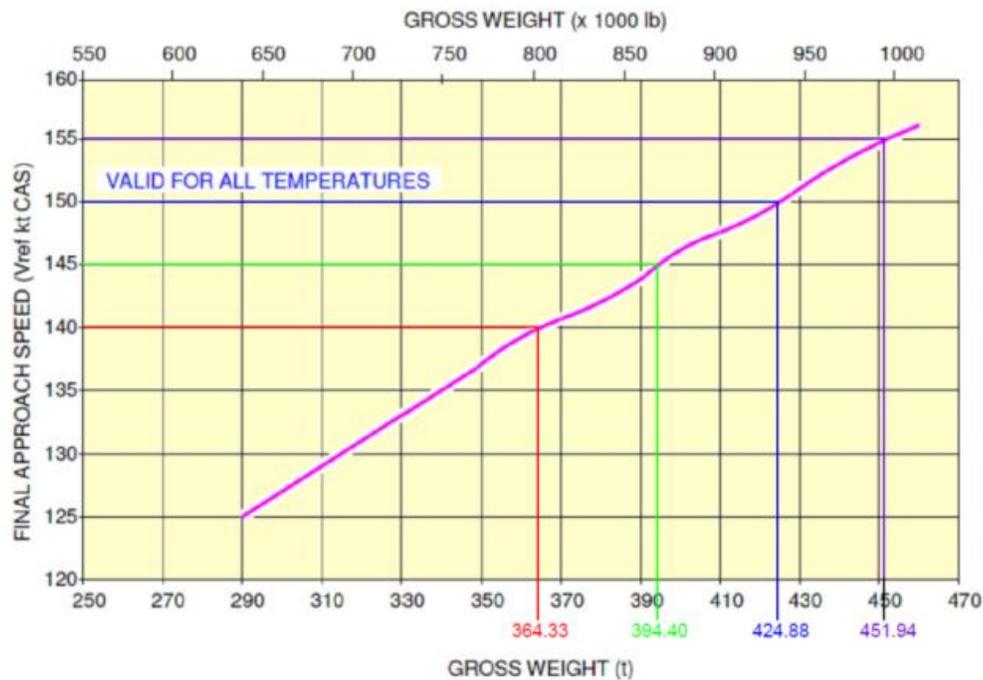


Figura 6 "Velocidad de aproximación final en función del peso de aterrizaje (CG al29% de MAC)"

La figura 6 muestra la gráfica de velocidad contra peso de aterrizaje (CG al 29%MAC) de donde obtuvimos los datos de la tabla 19. Éstos datos son válidos para todas las temperaturas.

*Tabla 19 " Velocidad de aproximación contra peso máximo de aterrizaje"*

Velocidad de aproximación	Peso máximo de aterrizaje
140 kts (72.022 m/s)	364 330 kg (802 488 Lb)
145 kts (74.594 m/s)	394 400 kg (868 722 Lb)
150 kts (77.166 m/s)	424 880 kg (935 859 Lb)
155 kts (79.738 m/s)	451 940 kg (995 462 Lb)

### **Cálculo de la distancia requerida para el aterrizaje en función del peso máximo de aterrizaje.**

El manual de Airbus “Airplane Characteristics for Airport Planning” contiene gráficas (figura 7, 8 y 9) para el cálculo de la distancia requerida para el aterrizaje en función de peso máximo de aterrizaje. Con estas gráficas se calcularon para los tres aeropuertos (AICM, AIG y AIC) las distancias requeridas para el aterrizaje en función de los pesos anteriormente calculados, los cuales a su vez están en función de la velocidad de aproximación utilizando la altitud corregida por temperatura (Ver anexo 1 “Gráficas de limitación del peso de despegue”)

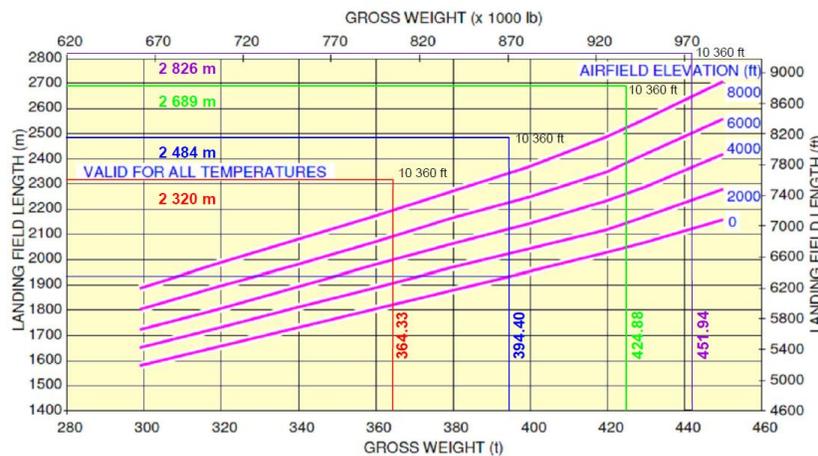
#### **4.6.1 Distancias requeridas para el aterrizaje del A380 en el AICM**

Los siguientes datos son utilizados para calcular las distancias de aterrizaje:

Elevación del AICM: 7 316 ft (2 230 m)

Altitud corregida por temperatura: 10 360 ft (3 158 m)

Temperatura de referencia: 26°C



*Figura 7 "Longitud del campo de aterrizaje en función del peso de aterrizaje a una altitud de 10 360 ft"*

De la gráfica de longitud de campo de aterrizaje contra peso bruto a 10,330ft de altitud (figura 7) se obtuvieron los valores para generar la tabla 20.

Según el anexo 14, el punto de visada estará situado a 400 m de la señal de umbral de la pista cuando ésta sea igual o mayor a 2 400 m.

Tabla 20 " Distancia requerida para el aterrizaje en el AICM"

Peso máximo de aterrizaje	Distancia requerida para el aterrizaje	Distancia requerida mas distancia de punto de visada
364 330 kg (802 488 Lb)	2 320 m (7 612 ft)	2 770 m (9 088 ft)
394 400 kg (868 722 Lb)	2 484 m (8 150 ft)	2 934 m (9 626 ft)
424 880 kg (935 859 Lb)	2 689 m (8 823 ft)	3 139 m (10 299 ft)
451 940 kg (995 462 Lb)	2 826 m (9 272 ft)	3 276 m (10 748 ft)

Después de analizar los resultados obtenidos, se concluye que el A380 puede aterrizar en el AICM con su peso máximo de aterrizaje.

#### 4.6.2 Distancias requeridas para el aterrizaje del A380 en el AIG

Los siguientes datos son utilizados para calcular las distancias de aterrizaje:

Elevación del AIG: 5 016 ft (1 529 m)  
 Altitud corregida por temperatura: 8 000 ft (2 439 m)  
 Temperatura de referencia: 31°C

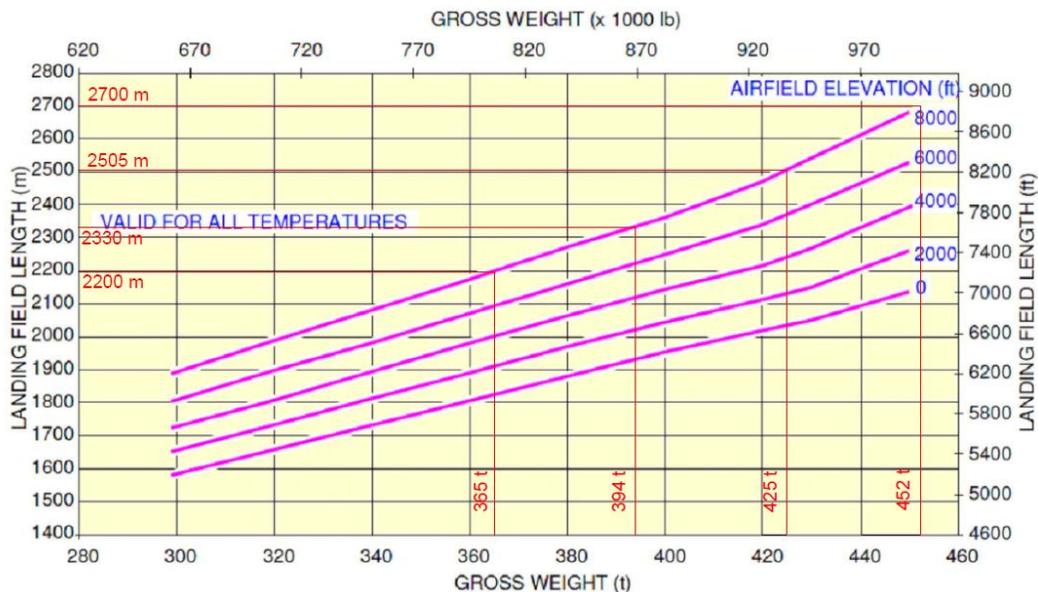


Figura 8 "Longitud del campo de aterrizaje en función del peso de aterrizaje a una altitud de 8 000 ft"

De la gráfica de longitud de campo de aterrizaje contra peso bruto a 8 000ft de altitud (figura 8) se obtuvieron los valores para generar la tabla 21.

Tabla 21 " Distancia requerida para el aterrizaje en el AIG"

Peso máximo de aterrizaje	Distancia requerida para el aterrizaje	Distancia requerida mas distancia del punto de visada
365,000 kg	2 200 m (7 218 ft)	2 600 m (8 531 ft)
394,000 kg	2 330 m (7 645 ft)	2 730 m (8 957 ft)
425,000 kg	2 505 m (8 219 ft)	2 905 m (9 531 ft)
452,000 kg	2 700 m (8 859 ft)	3 000 m (9 843 ft)

Al igual que en el AICM, se concluye que el A380 puede aterrizar con su peso máximo de aterrizaje en el AIG.

#### 4.6.3 Distancias requeridas para el aterrizaje del A380 en el AIC

Los siguientes datos son utilizados para calcular las distancias de aterrizaje:

Elevación del AIC: 20 ft (6 m)

Altitud corregida por temperatura: 2 154 ft (657 m)

Temperatura de referencia: 31°C

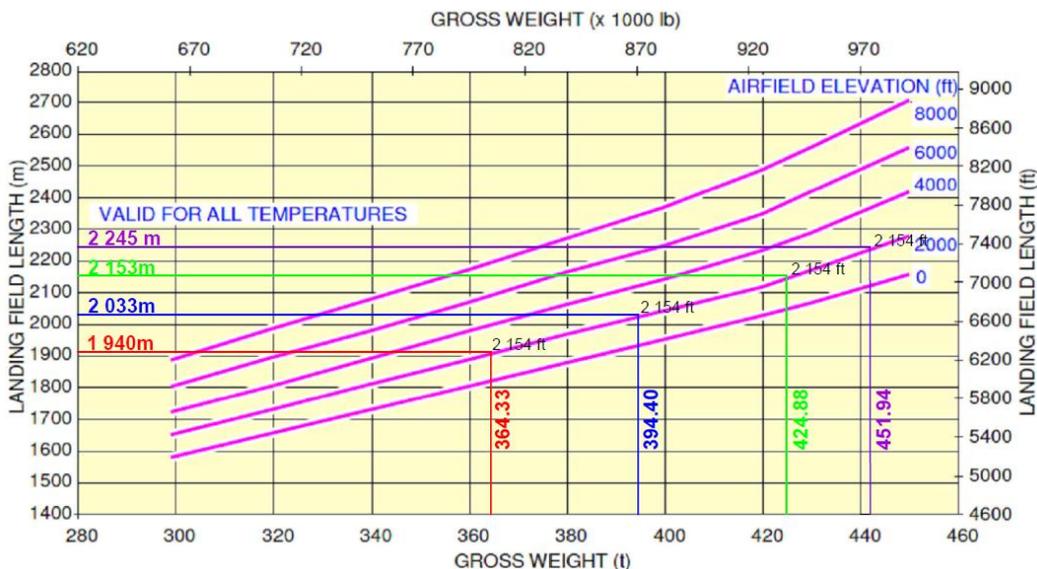


Figura 9 "Longitud del campo de aterrizaje en función del peso de aterrizaje a una altitud de 2 154 ft"

De la gráfica de longitud de campo de aterrizaje contra peso bruto a 2 154 ft de altitud (figura 9) se obtuvieron los valores para poder generar la tabla 22.

*Tabla 22 " Distancia requerida para el aterrizaje en el AIC"*

Peso máximo de aterrizaje	Distancia requerida para el aterrizaje	Distancia requerida mas distancia del punto de visada
365,000 kg	1 940 m (6 365 ft)	2 390 m (7 842 ft)
394,000 kg	2 033 m (6 670 ft)	2 483 m (8 147 ft)
425,000 kg	2 153 m (7 064 ft)	2 603 m (8 541 ft)
452,000 kg	2 245 m (7 366 ft)	2 695 m (8 842 ft)

Al igual que en el AICM y el AIG, se concluye que el A380 puede aterrizar con su peso máximo de aterrizaje en el AIC.

#### 4.7 Calles de salida rápida.

La calle de salida rápida es aquella calle de rodaje que se une a una pista en ángulo agudo y está proyectada de modo que permita a los aviones que aterrizan virar a velocidades mayores que las que se logran en otras calles de rodaje de salida y logrando así que la pista esté ocupada el mínimo tiempo posible.

##### 4.7.1 Cálculo de la distancia requerida al aterrizaje en función de la velocidad de aproximación

La siguiente ecuación se utiliza para calcular la distancia requerida para el aterrizaje en función de las velocidades de aproximación, velocidad de desvío y desaceleración.

$$d = \frac{s_1^2 - s_0^2}{-2a}$$

Donde:

- d= distancia requerida para el aterrizaje
- s<sub>1</sub>= velocidad de aproximación de la aeronave
- s<sub>0</sub>= velocidad de desvío de la aeronave
- a= Desaceleración

La velocidad de desvío ( $s_0$ ) para aviones con categoría “D” en adelante (aviones de gran envergadura) es de 26 m/s y la desaceleración ( $a$ ) tiene un valor de  $1.25 \text{ m/s}^2$ , este valor está dado sin tomar en cuenta las reversas de los motores.

La tabla 23 muestra los cálculos de la distancia requerida para el frenado del A380 con las posibles velocidades de arribo de la aeronave.

*Tabla 23 "Distancia requerida para el frenado"*

Velocidad de aproximación	Distancia requerida para el aterrizaje (m)	Distancia requerida mas distancia del punto de visada (m)
140 kts (72.022 m/s)	1804.480	2255
145 kts (74.594 m/s)	1955.332	2406
150 kts (77.166 m/s)	2111.477	2562
155 kts (79.738 m/s)	2272.916	2723

Las distancias requeridas para el frenado que se muestran en la tabla anterior sólo son válidas para condiciones ISA estándar (al nivel medio del mar y una temperatura de referencia de  $15^\circ \text{ C}$ ).

#### 4.7.2 Corrección de distancia de frenado por elevación y temperatura

Para la corrección de la distancia requerida para el frenado por elevación se debe aumentar un 1% por cada 100 m de elevación del aeropuerto a la distancia requerida para el aterrizaje en condiciones ISA estándar.

Para la corrección por temperatura de la distancia requerida para el frenado se debe aumentar un 0.27% por cada grado centígrado que la temperatura de referencia del aeropuerto exceda los  $15^\circ \text{ C}$  a la distancia requerida para el aterrizaje corregida por elevación.

##### 4.7.2.1 Corrección de distancia de frenado por elevación y temperatura para el AICM

El AICM tiene una elevación es de 2 230 m (7 316 ft), por lo tanto la corrección por elevación será de 22.3%.

La temperatura de referencia del AICM es de  $26^\circ \text{ C}$ , ésta excede en  $11^\circ \text{ C}$  la temperatura de la atmósfera estándar a nivel medio del mar, por lo tanto la corrección por temperatura será de 2.97%.

La tabla 24 muestra la corrección por temperatura y elevación de la distancia requerida para el frenado en el AICM, mas la distancia del punto de visada.

**Tabla 24 "Corrección por elevación y temperatura de la distancia requerida para el frenado en el AICM"**

Distancia requerida para el frenado en condiciones ISA estándar (m)	Corrección de la distancia requerida para el frenado por elevación (m)	Corrección de la distancia requerida para el frenado por temperatura de referencia (m)	Distancia requerida para el frenado corregida mas distancia del punto de visada
1 804.480	2 206.879	2 272.423	2 723 m (8 934 ft)
1 955.332	2 391.371	2 462.395	2 913 m (9 557 ft)
2 111.477	2 582.337	2 659.032	3 110 m (10 204 ft)
2 272.916	2 779.776	2 862.335	3 313 m (10 706 ft)

Las distancias requeridas para el cálculo de las salidas rápidas serán las que aparecen en la tabla 25, que son las que restringen en mayor grado el cálculo de las mismas. Tales distancias se obtuvieron en la sección 4.6.1 “Distancias requeridas para el aterrizaje del A380 en el AICM”.

**Tabla 25 "Distancias requeridas para el cálculo de las calles de salida rápida del AICM"**

Peso máximo de aterrizaje	Distancia requerida para el aterrizaje
364 330 kg (802 488 Lb)	2 723 m (8 934 ft)
394 400 kg (868 722 Lb)	2 913 m (9 557 ft)
424 880 kg (935 859 Lb)	3 110 m (10 204 ft)
451 940 kg (995 462 Lb)	3 313 m (10 706 ft)

#### 4.7.2.2 Corrección de distancia de frenado por elevación y temperatura para el AIG

El AIG cuenta con una elevación de 1 529 m (5 016 ft), por lo tanto la corrección por elevación será de 15.29%.

La temperatura de referencia del AIG es de 31°C, ésta excede en 16° C la temperatura de la atmósfera estándar a nivel medio del mar, por lo tanto la corrección por temperatura será de 4.32%.

La tabla 26 muestra la corrección por temperatura y elevación de la distancia requerida para el frenado en el AIG, mas la distancia del punto de visada.

**Tabla 26 "Corrección por elevación y temperatura de la distancia requerida para el frenado en el AIG"**

Distancia requerida para el frenado en condiciones ISA estándar (m)	Corrección de la distancia requerida para el frenado por elevación (m)	Corrección de la distancia requerida para el frenado por temperatura de referencia (m)	Distancia requerida para el frenado corregida mas distancia del punto de visada
1804.48	2080.36	2170.23	2 571 m (8 433 ft)
1955.33	2254.28	2351.66	2 752 m (9 028 ft)
2111.48	2434.30	2539.46	2 940 m (9 644 ft)
2272.92	2620.42	2733.62	3 134 m (10 281 ft)

Las distancias que se muestran en la sección 4.6.2 “Distancias requeridas para el aterrizaje del A380 en el AIG” son menores que las distancias que se muestran en la tabla anterior (tabla 12), por lo tanto se tomarán como parámetro para el cálculo de las salidas rápidas que se muestran en la tabla 12.

#### 4.7.2.3 Corrección de distancia de frenado por elevación y temperatura para el AIC

El AIC cuenta con una elevación de 6 m (20 ft), por lo tanto la corrección por elevación será de 0.06%.

La temperatura de referencia del AIC es de 31°C, ésta excede en 16° C la temperatura de la atmósfera estándar a nivel medio del mar, por lo tanto la corrección por temperatura será de 4.32%.

La tabla 27 muestra la corrección por temperatura y elevación de la distancia requerida para el frenado en el AIC, mas la distancia del punto de visada.

**Tabla 27 "Corrección por elevación y temperatura de la distancia requerida para el frenado en el AIC"**

Distancia requerida para el frenado en condiciones ISA estándar (m)	Corrección de la distancia requerida para el frenado por elevación (m)	Corrección de la distancia requerida para el frenado por temperatura de referencia (m)	Distancia requerida para el frenado corregida mas distancia del punto de visada
1 804.480	1 805.562	1 883.563	2 284 m (7 494 ft)
1 955.332	1 956.505	2 041.026	2 442 m (8 012 ft)
2 111.477	2 112.744	2 204.015	2 605 m (8 547 ft)
2 272.916	2 274.279	2 372.528	2 773 m (9 098 ft)

La siguiente tabla (28) muestra las distancias requeridas para el frenado en el AIC, las cuales son las más restrictivas para el aterrizaje del A380. La tabla 14 está constituida por valores calculados en la sección 4.6.3 “Distancias requeridas para el aterrizaje del A380 en el AIC” y por valores contenidos en la tabla 27.

*Tabla 28 "Distancias requeridas para el cálculo de las calles de salida rápida del AIC"*

Peso máximo de aterrizaje	Distancia requerida para el aterrizaje
364 330 kg (802 488 Lb)	2 390 m (7 842 ft)
394 400 kg (868 722 Lb)	2 483 m (8 147 ft)
424 880 kg (935 859 Lb)	2 605 m (8 541 ft)
451 940 kg (995 462 Lb)	2 773 m (9 098 ft)

### 4.7.3 Calles de salida rápida de los aeropuertos

La OACI establece que el ángulo de intersección de una calle de salida rápida con la pista no debería ser mayor de 45° ni menor de 25°, pero preferentemente debería ser de 30°. Las calles de salida rápida deberán calcularse con un radio de la curvatura de enlace de por lo menos 550 m para aeropuertos de categoría 3 ó 4.

Una calle de salida rápida deberá de incluir una recta después de la curva de viraje, suficiente para que una aeronave que esté saliendo pueda detenerse completamente con un margen libre de toda intersección de calle de rodaje.

#### 4.7.3.1 Calles de salida rápida del AICM

Las calles de rodaje que se unen a la pista 05R/23L no cumplen con los requerimientos para poder ser consideradas como calles de salida rápida, excepto el rodaje “A5” que tiene 30° de intersección con la pista 05R, el radio de la curva de enlace es de 538 m y 137 de superficie recta en la cual el avión puede detenerse. Sólo dos rodajes más cumplen con el ángulo de intersección menor a 45° y mayor a 25°: el rodaje “G” y el rodaje “A4”. El rodaje “G”, con 30° de intersección con la pista 05R y radio de curva de enlace de 536 m, tiene una superficie recta de sólo 37 m, lo cual indica que el avión no lograría detenerse antes de la intersección con el rodaje “D”. El rodaje “A4”, con 31° de intersección con la pista 23L, tiene un radio de curvatura con la intersección entre el rodaje y la pista de tan solo 460 m, con lo cual no se puede considerar una calle de salida rápida.

A pesar de lo expuesto anteriormente, en las figuras 10 y 11 se ilustran las distintas maneras en que el A380 puede desalojar la pista 05R/23L.

## Aterrizaje por pistas 05R y 05L

En la figura 10 se ilustra cómo el A380 puede aterrizar en ambas pistas (05L/23R y 05R/23L) y se pueden observar las distancias que recorrería el avión si éste aterrizara por la pista 05L o 05R.

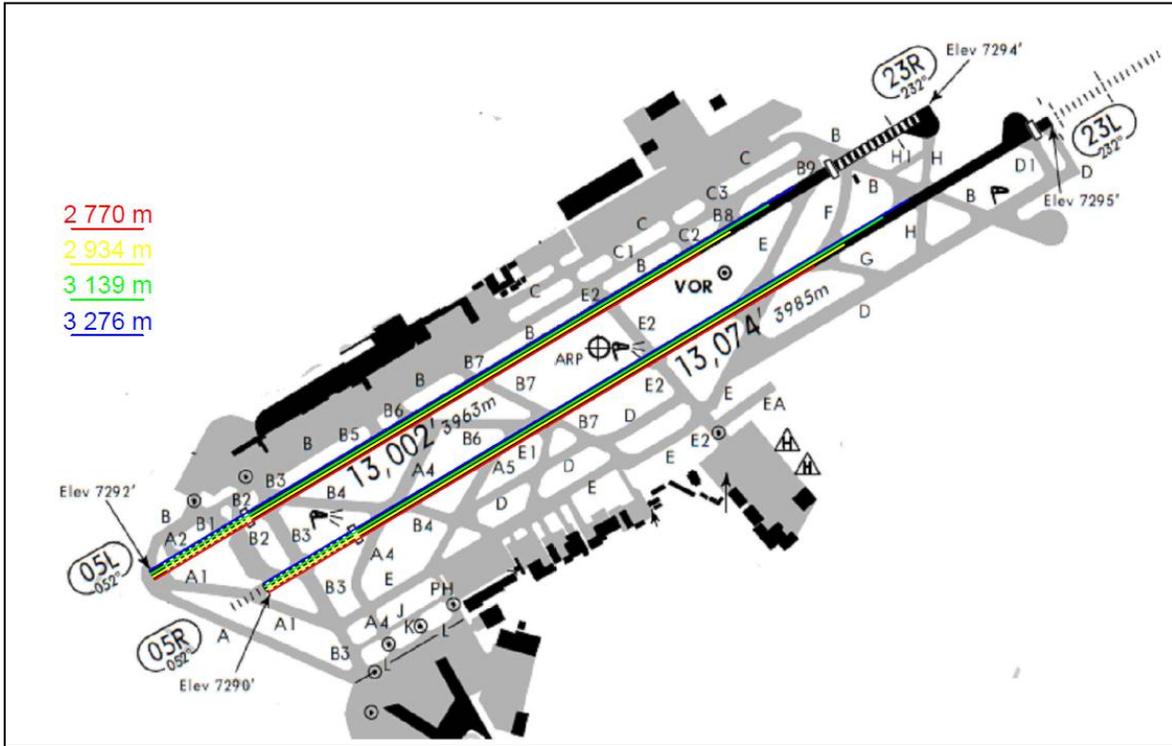


Figura 10 "Distancias requeridas para el aterrizaje en pistas 05R y 05L"

Si el A380 aterrizara por la pista 05L, la posible salida rápida sería por el rodaje "B" hasta el rodaje "D" sin importar con qué velocidad de aproximación llegue, puesto que la salida por el rodaje "F" no sería conveniente por el radio de viraje que tendrá que hacer. Este tema se presentará en los siguientes subcapítulos.

Si el A380 aterrizara por la pista 05R, las posibles salidas rápidas serían las siguientes:

- En caso de que llegara con una velocidad de 140 kts, la salida sería por el rodaje "G" hasta el rodaje "D". Y en caso de que el radio de viraje del rodaje "H" cumpliera con los requisitos del avión, otra posible salida sería por el rodaje "H" hasta el rodaje "D".
- En caso de que llegara con una velocidad de 145, 150 o 155 kts, la salida sería por el rodaje "B" hasta el rodaje "D". Otra posible salida sería por el rodaje "H" si llegara a cumplir con los requisitos del avión, hasta el rodaje "D".

## Aterrizaje por pistas 23R o 23L

La figura 11 ilustra las distancias que recorrería el avión si éste aterrizara por la pista 23R o 23L.

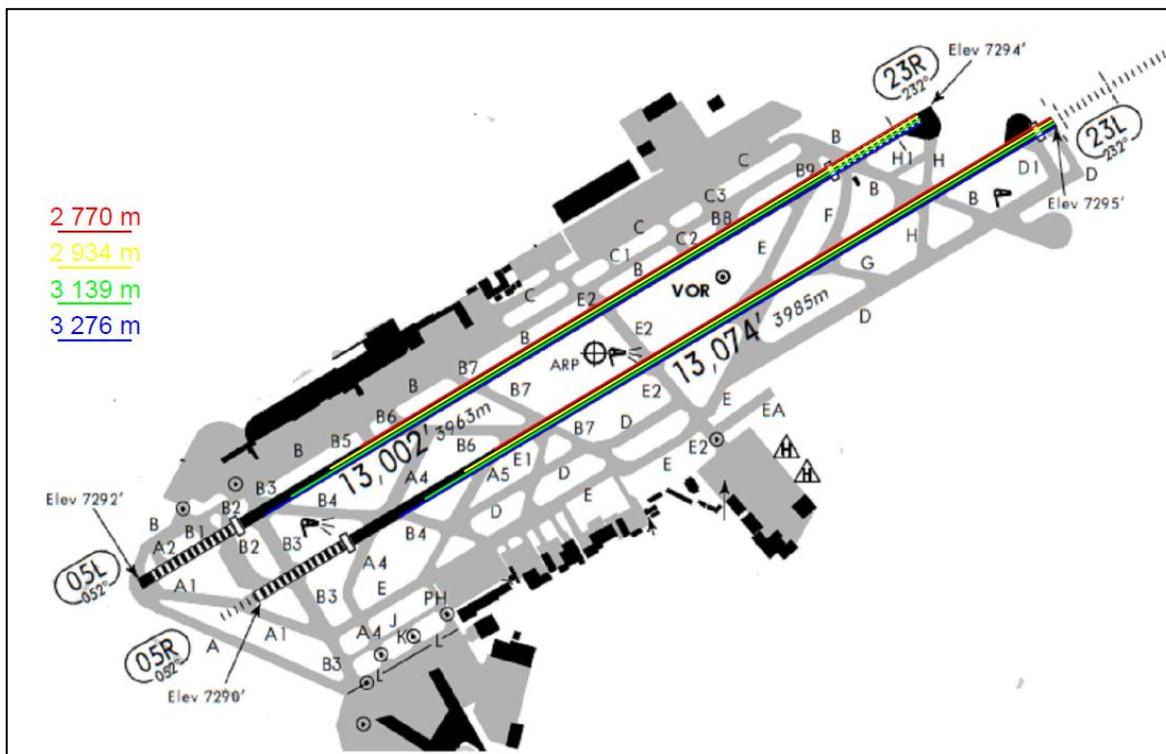


Figura 11 "Distancias requeridas para el aterrizaje en pistas 23L y 23R"

Si el A380 aterrizara por la pista 23R, la posible salida rápida sería por el rodaje "B3" hasta la plataforma de T2, sin importar con qué velocidad de aproximación llegue.

Si el A380 aterrizara por la pista 23L, las posibles salidas rápidas serían las siguientes:

- En caso de que llegara con una velocidad de aproximación de 140 kts, la salida sería por el rodaje "A5" hasta el rodaje "E".
- En caso de que llegara con una velocidad de aproximación de 145 o 150 kts, las posibles salidas serían por el rodaje "A4" hasta la plataforma de T2
- En caso de que llegara con una velocidad de aproximación de 155 kts, la salida sería por el rodaje "B3" hasta la plataforma de T2.

### 4.7.3.2 Calles de salida rápida del AIG

Por las dimensiones del A380, no podrá realizar operaciones en las pistas 20/02, por lo tanto el análisis se realizará sobre pistas 10/28. El AIG tiene 3 calles de rodaje que conectan la pista en ángulo agudo y cumplen con los requisitos para ser calles de salida rápida, ya que tienen 30° de intersección con respecto a la pista 10/28:

El rodaje “B” tiene 30° de intersección con respecto a la pista 10, el radio de la curvatura de enlace entre el rodaje y la pista es de 530 m y la superficie recta de la calle de rodaje hasta la intersección con “A” es de 390 m, donde el A380 puede detenerse.

El rodaje “E” tiene 30° de intersección con la pista 28, el radio de la curvatura de enlace entre el rodaje y la pista es de 530 m y la superficie recta de la calle de rodaje hasta la intersección con la pista 02/20 es de 238 m, donde el A380 puede detenerse por completo antes de la intersección con la pista 02/20.

El rodaje “H”, que tiene 30° de intersección con la pista 28, radio de la curvatura de enlace entre el rodaje y la pista de 450 m y una superficie recta de la calle de rodaje hasta la intersección con la curva que enlace el rodaje “H” con “A” de 80 m, no cumple con los requisitos para ser una calle de salida rápida además de no poseer el PCN (término explicado más adelante) requerido para operar la aeronave

En las figuras 12 y 13 se ilustra cómo desalojaría las pistas 10 y 28 respectivamente el A380.

### Aterrizaje por pista 10

La figura 12 ilustra las distancias que recorrería el avión si aterrizara por la pista 10.

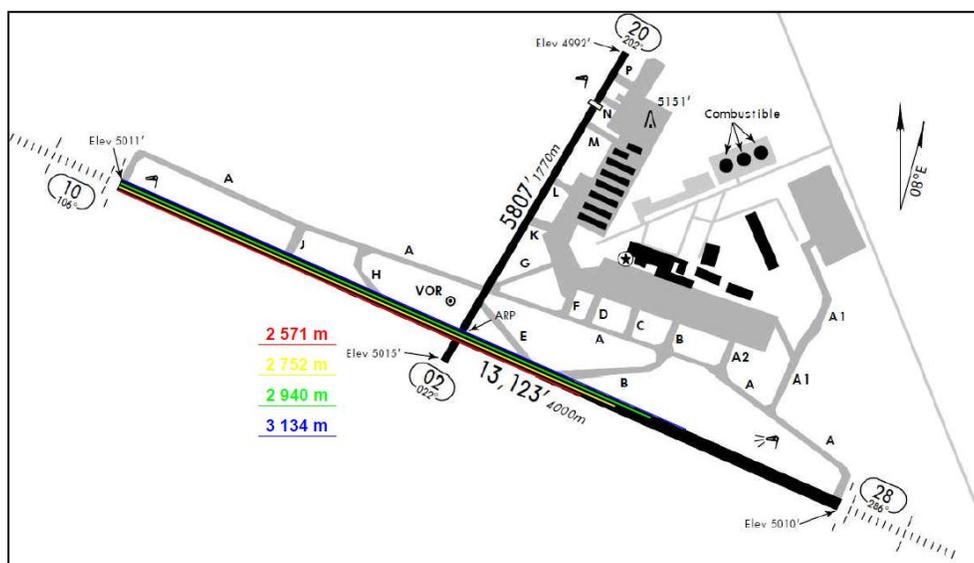


Figura 12 "Distancias requeridas para el aterrizaje en la pista 10"

En la figura 12 se puede observar que sin importar la velocidad de aproximación del avión, éste no podrá ocupar alguna de las calles de salida rápida con las que cuenta el aeropuerto, por lo tanto el A380 solo podrá desalojar la pista por el rodaje “A” que está ubicado en el extremo de la cabecera 28.

### Aterrizaje por pista 28

La figura 13 ilustra las distancias que recorrería el avión si aterrizara por la pista 28.

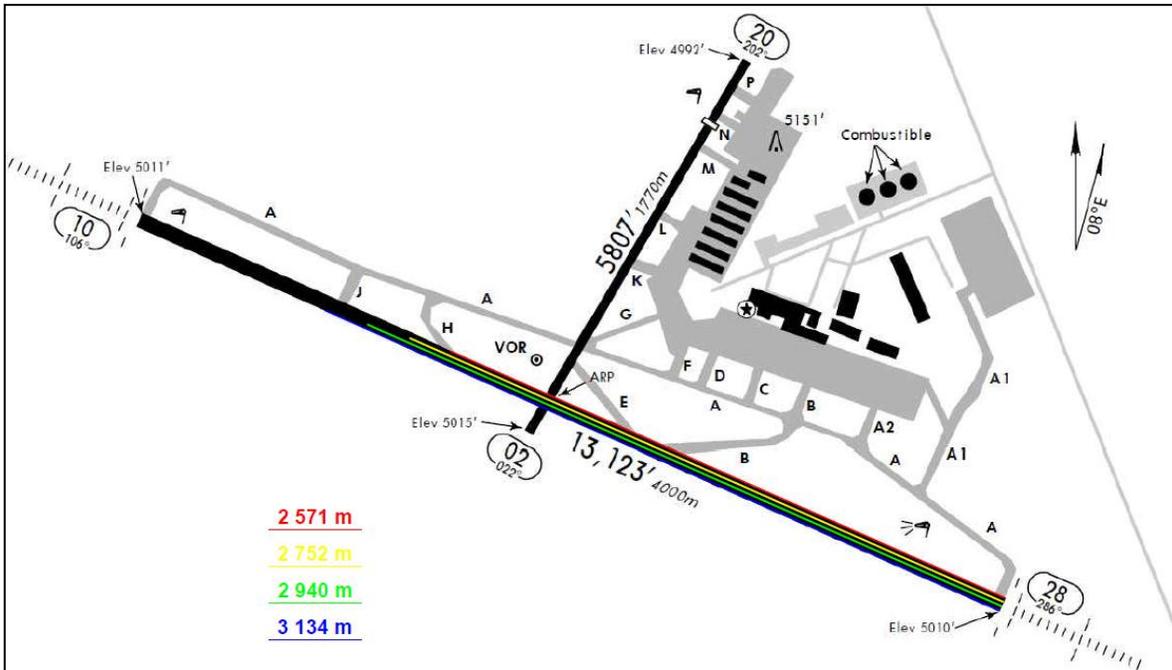


Figura 13 "Distancias requeridas para el aterrizaje en la pista 28"

En la figura 13 se puede observar que si el avión aterriza con una velocidad de aproximación de 140 kts puede desalojar la pista por el rodaje “H”, sin embargo, a pesar de estar a 30° de intersección con la pista 28, este rodaje no cumple con el radio mínimo de viraje y no puede ser tomado en consideración para un posible desalojo de pista debido a que la resistencia del pavimento (PCN) es menor a la requerida por el avión. Si el avión aterriza con una velocidad de aproximación de 145, 150 ó 155 kts el desalojo sugerido es el rodaje “A”, que conecta con la pista 10/28 en la cabecera 10.

### 4.7.3.3 Calles de salida rápida del AIC

El AIC cuenta con 3 calles de rodaje que conectan la pista 12R/30L (única operable para el A380) en ángulo agudo que cumplen parcial o totalmente los requisitos para ser calles de salida rápida:

El rodaje “E” está a 31° con respecto a la intersección con la pista, el radio de la curvatura de conexión entre el rodaje y la pista 12R es de 560 m y tiene una superficie recta al finalizar la curva de viraje de 80 m hasta la intersección con los rodajes “A” y “E”.

El rodaje “C” está a 30° con respecto a la intersección con la pista, sin embargo el radio de la curvatura de enlace entre la pista y el rodaje es de tan solo 296 m y la superficie recta al finalizar la curva de viraje es de 124 m hasta la intersección con los rodajes “A” y “E”. Este rodaje no cumple con el radio de curvatura mínimo.

El rodaje “D”, al igual que el rodaje “C”, está a 30° con respecto a la intersección con la pista. Este rodaje aparentemente no tiene la señal de eje de pista-rodaje en la curvatura de enlace, por tal motivo no fue posible determinar si el radio cumple con las magnitudes mínimas establecidas.

En las figuras 14 y 15 se ilustran las longitudes de pista que necesita el A380 al aterrizaje y las distintas formas en la que puede desalojar la pista 12R ó 30L.

#### Aterrizaje por pista 12R

La figura 14 ilustra las distancias que recorrería el avión si aterrizara por la pista 12R.

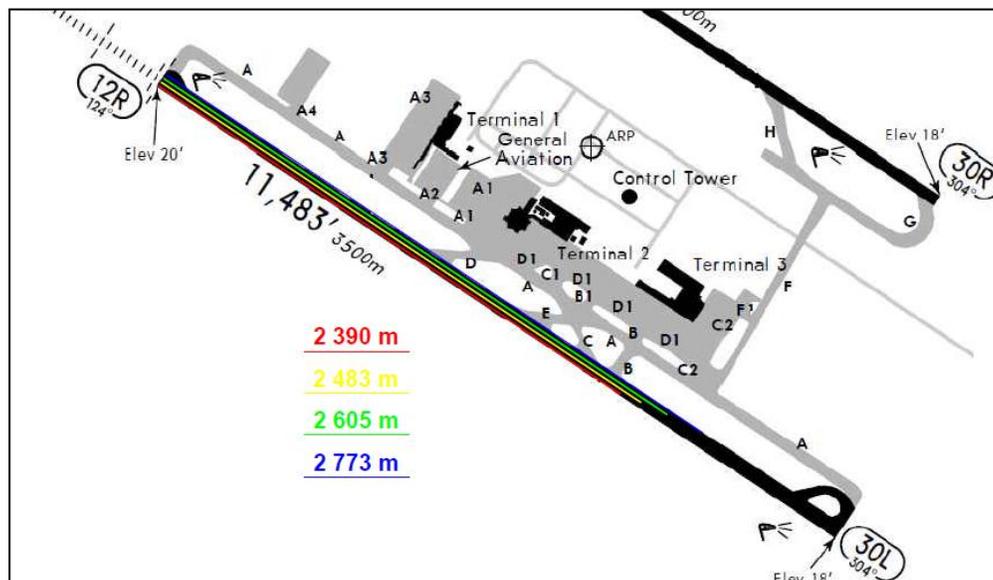


Figura 14 "Distancias requeridas para el aterrizaje en la pista 12R"

En la figura 14 se observa que el A380 sólo podrá desalojar la pista 12R por el rodaje “A” que conecta la pista en la cabecera 30L cuando se efectúe un aterrizaje sin importar la velocidad de aproximación.

### Aterrizaje por pista 30L

La figura 15 ilustra las distancias que recorrería el avión si aterrizara por la pista 30L.

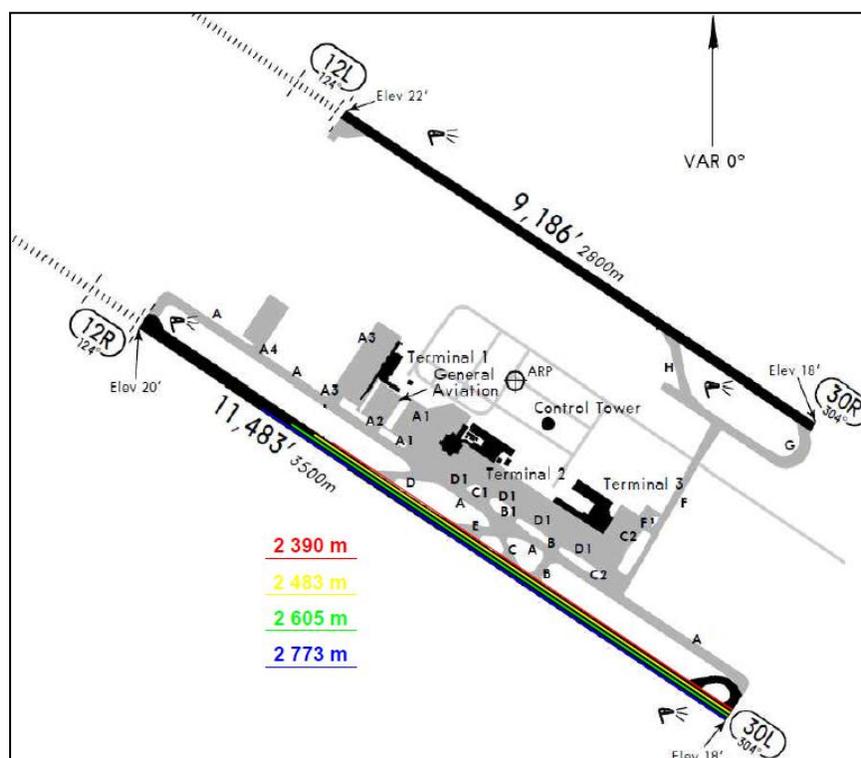


Figura 15 "Distancias requeridas para el aterrizaje en la pista 30L"

En la figura 15 se puede observar que sin importar con qué velocidad de aproximación aterrice el A380 en la pista 30L, la única manera de desalojarla será por el rodaje “A” en la cabecera de la pista 12L.

## 4.8 Resistencia del Pavimento

### ACN- PCN

El *Número de clasificación de aeronaves (ACN)* es la cifra que indica el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento para determinada categoría normalizada del terreno de fundación.

El número de clasificación de aeronaves 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). En casos excepcionales, la posición más avanzada del CG puede determinar que resulte más crítica la carga sobre el tren de aterrizaje de nariz.

El *número de clasificación de pavimentos (PCN)* es el número que indica la resistencia de un pavimento para utilizarlo sin restricciones.

El PCN de la pista, rodaje y plataformas se expresa en las siguientes categorías:

*Tabla 29 " Parámetros de clasificación del PCN"*

PCN			
Tipo de pavimento	Categoría del terreno de fundación	Presión sobre los neumáticos	Método de evaluación
<b>R. Rígido</b>	A. Resistencia Alta	W. Sin Limite	T. Técnico
<b>F. Flexible</b>	B. Resistencia Mediana	X. Hasta 1.5 MPa (217 psi)	U. Uso de la aeronave
	C. Resistencia Baja	Y. Hasta 1 MPa (145 psi)	
	D. Resistencia Ultra Baja	Z. Hasta 0.5 MPa (73 psi)	

### Tipo de pavimento

Existen dos tipos de pavimento: el Pavimento Flexible y el Pavimento Rígido.

El pavimento flexible es una estructura de pavimento que mantiene íntimo contacto con el terreno de fundación y reparte las cargas sobre el mismo. Por lo que a estabilidad se refiere, depende de la trabazón o entrelazamiento de áridos, rozamientos y cohesión de las partículas.

El pavimento rígido es una estructura de pavimento que distribuye las cargas al terreno de fundación y tiene como revestimiento una losa de hormigón de cemento Portland de resistencia a la flexión relativamente elevada.

### **Categoría del terreno de fundación**

En el método ACN-PCN se utilizan 8 valores normalizados del terreno de fundación (cuatro valores “k” para pavimentos rígidos y cuatro valores CBR para pavimentos flexibles). Las categorías del terreno de fundación se clasifican como alta, mediana, baja y ultra baja y se asignan a cada grupo los siguientes valores numéricos.

Para pavimentos flexibles:

- A. Resistencia Alta: CBR 15
- B. Resistencia Mediana: CBR 10
- C. Resistencia Baja: CBR 6
- D. Resistencia Ultra Baja: CBR 3

Para los pavimentos rígidos:

- A. Resistencia Alta=  $150 \text{ MN/m}^3$
- B. Resistencia Mediana=  $80 \text{ MN/m}^3$
- C. Resistencia Baja=  $40 \text{ MN/m}^3$
- D. Resistencia Ultra Baja=  $20 \text{ MN/m}^3$

### **Presión de los neumáticos**

Las conclusiones que se desprenden de las investigaciones sobre pavimentos y la revaluación de los resultados de ensayos pasados confirman que, salvo para la construcción de pavimentos fuera de lo común, los efectos de la presión de los neumáticos son secundarios con respecto a la carga y a la separación de las ruedas y por lo tanto la presión puede clasificarse en cuatro categorías: alta, mediana, baja y muy baja. Los valores asignados a estas categorías corresponden a los valores presentes en la tabla anterior.

El número de clasificación de aeronaves (ACN) es el número que indica el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento para determinada resistencia normalizada del terreno de fundación. Si una aeronave tiene un ACN igual o menor al PCN, puede operar sin ninguna restricción sobre este pavimento.

Numéricamente el ACN es dos veces la carga de rueda simple derivada (expresado en miles de kilogramos). La carga de rueda simple derivada está definida como la carga sobre una rueda inflada a 1.25 MPa (181 psi) que tendría los mismos requerimientos del pavimento así como los de la aeronave.

Dado que una aeronave opera en distintas condiciones de masa y de centro de gravedad, en los cálculos del ACN se han adoptado las siguientes convenciones:

- a) El ACN de una aeronave se calcula con la masa y centro de gravedad que producen la máxima carga del tren de aterrizaje principal sobre el pavimento. Generalmente

se trata del peso máximo en rampa y del correspondiente centro de gravedad en posición retrasada.

- b) En las correspondientes cartas y tablas del ACN de la aeronave, éste aparece en función de la masa bruta de la aeronave y del centro de gravedad de la misma con un valor constante correspondiente al valor máximo ACN y con los neumáticos inflados a la presión para el peso máximo en rampa.
- c) Los valores ACN para condiciones específicas son los que se ajustan a los efectos de la presión de los neumáticos y/o a la posición del centro de gravedad con una masa bruta especificada para las aeronaves.

#### 4.8.1 Comparativo del ACN del A380 con el PCN de los aeropuertos

##### 4.8.1.1 Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM)

#### **Cálculo del ACN del A380 para el AICM**

En el manual “Airplane Characteristics for Airport Planning”, en su sección 7.9.0 “Paviment data- ACN-PCN Reporting system”, se encuentran las siguientes gráficas donde se pueden calcular los distintos ACN del aeronave dependiendo del terreno de fundación y del centro de gravedad del avión.

Para el cálculo del ACN del A380 relativo al terreno de cimentación del AICM, se tomó como límite inferior del peso la carga máxima con la que el avión puede ser despachado en condiciones de temperatura de referencia (481 950 kg). Para el límite superior se tomó como referencia el peso máximo con el que el avión puede ser despachado en condiciones ISA estándar (525 070 kg).

En las siguientes gráficas (Figuras 16, 17, 18 y 19) se muestran los cálculos del ACN relativos al terreno de fundación que tiene el AICM. El AICM cuenta con pavimentos flexibles de categoría A, B, C y D en algunas partes de su terreno de fundación (pistas, calles de rodaje o plataformas). En la siguiente sección de este documento se abordará la clasificación y nombre de cada una de estas partes del terreno del aeropuerto. El AICM también cuenta con algunas superficies de pavimento rígido con categoría C.

Datos para el cálculo del ACN en el AICM:

Tipo de pavimento: Flexible

Centro de gravedad (CG): 43% MAC

Peso Máximo en Rampa (PMR): 562 000 Kg

Límites del Peso Máximo de Despegue para el AICM: 481 950 – 525 070 Kg

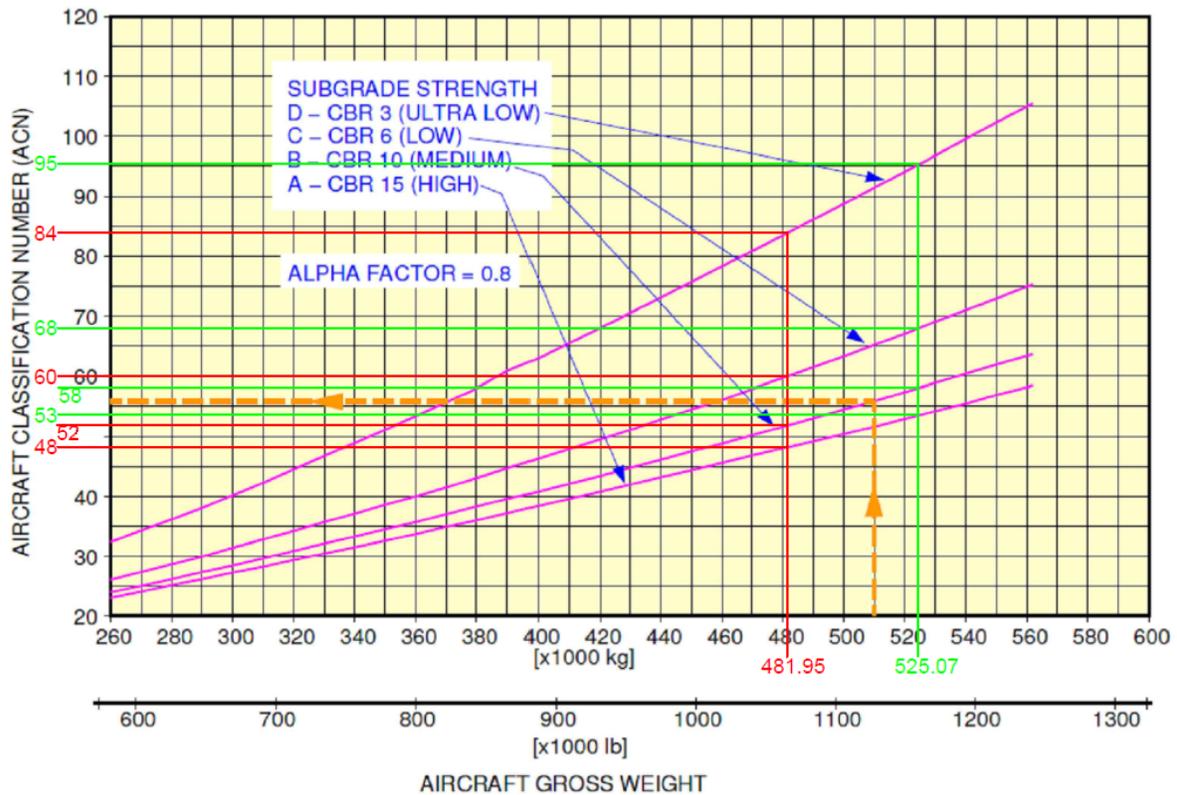


Figura 16 "Número de clasificación del A380 en el AICM - Pavimento flexible - 43% MAC"

Los cálculos del ACN para pavimento flexible con un CG al 43%MAC (Figura 16) en el AICM se determinaron para las categorías A, B, C y D, puesto que la mayoría de las calles de rodaje, pistas y plataformas tienen estas categorías en el terreno de fundación.

Datos:

Tipo de pavimento: Flexible

Centro de gravedad (CG): 41% MAC

Peso Máximo en Rampa (PMR): 571 000 Kg

Límites del Peso Máximo de despegue para el AICM: 481 950 – 525 070 Kg

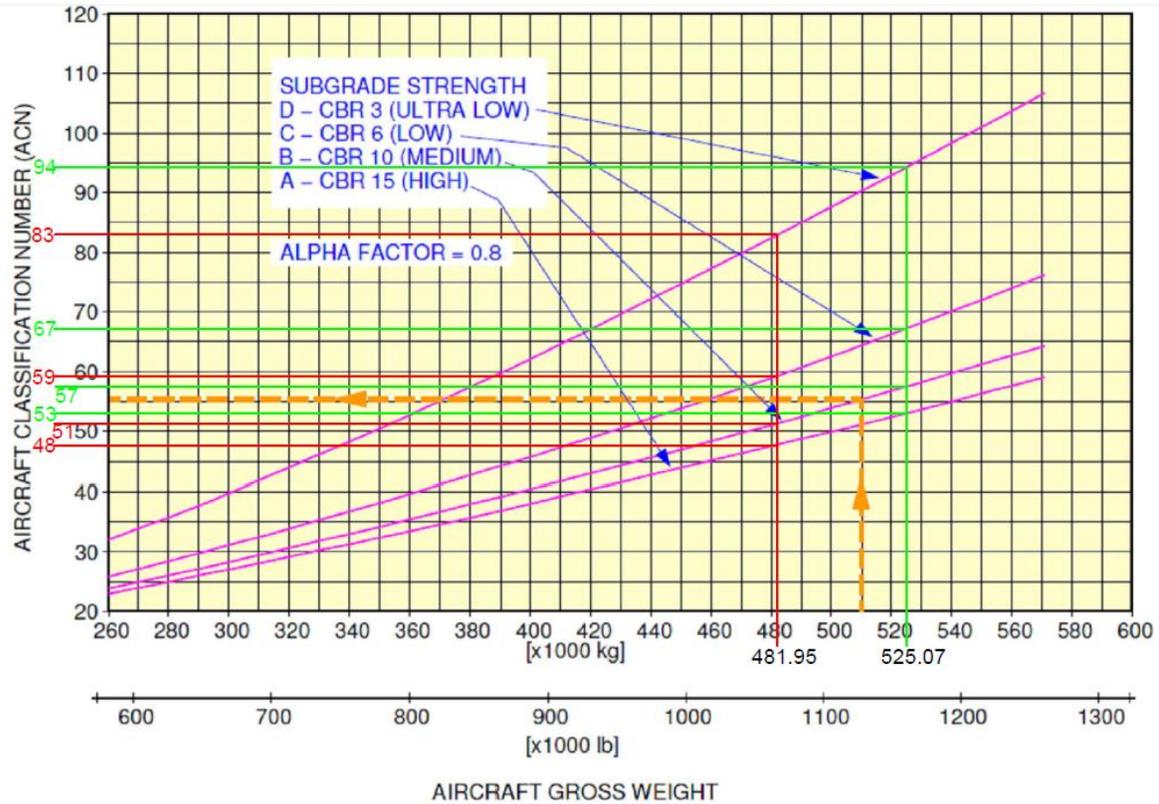


Figura 17 "Número de clasificación del A380 en el AICM - Pavimento flexible - 41% MAC"

Los cálculos del ACN para pavimento flexible con un CG al 41%MAC (Figura 17) en el AICM se determinaron para las categorías A, B, C y D, puesto que la mayoría de las calles de rodaje, pistas y plataformas tienen estas categorías en el terreno de fundación.

Datos:

Tipo de pavimento: Rígido

Centro de gravedad (CG): 43% MAC

Peso Máximo en Rampa (PMR): 562 000 Kg

Límites del Peso Máximo de despegue para el AICM: 481 950 – 525 070 Kg

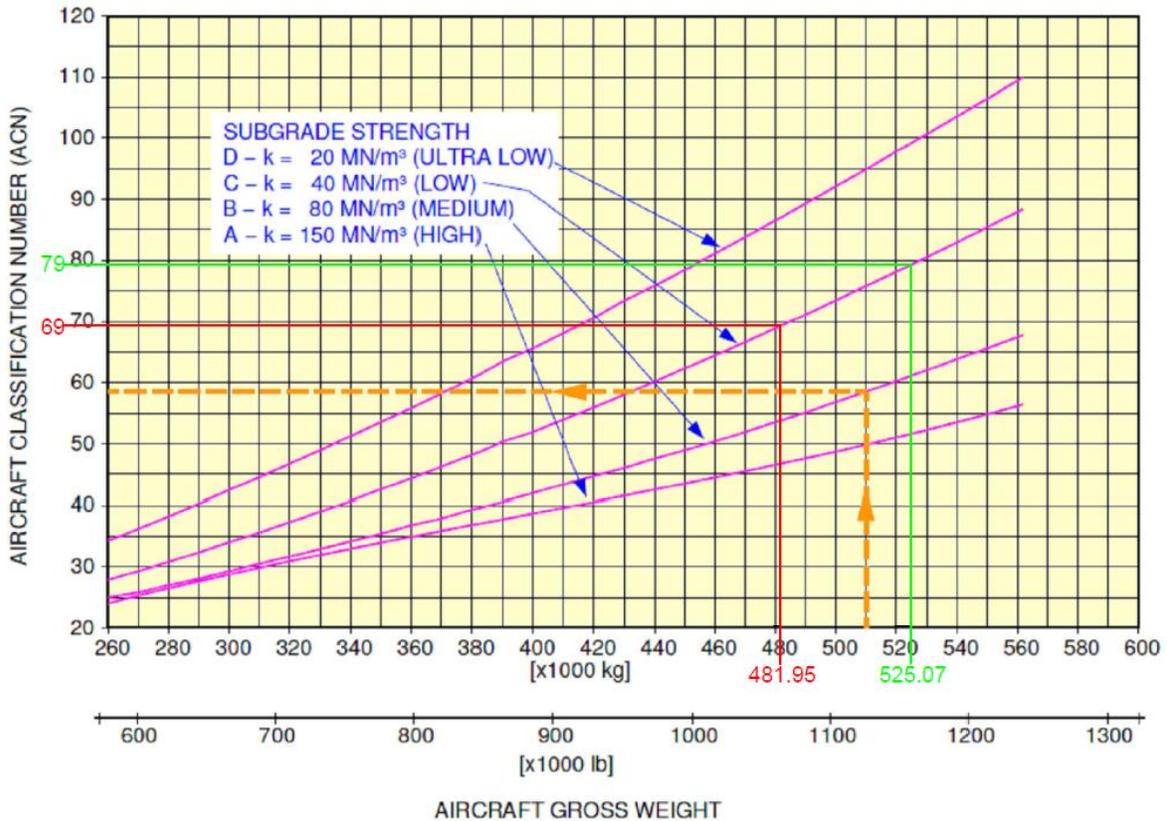


Figura 18 "Número de clasificación del A380 en el AICM - Pavimento rígido - 43% MAC"

Los cálculos del ACN para pavimento rígido con un CG al 43%MAC (Figura 18) en el AICM se determinaron para las categorías C, puesto que sólo algunas de las calles de rodaje, pistas y plataformas tienen esta categoría en el terreno de fundación.

Datos:

Tipo de pavimento: Rígido

Centro de gravedad (CG): 41% MAC

Peso Máximo en Rampa (PMR): 571 000 Kg

Límites del Peso Máximo de despegue para el AICM: 481 950 – 525 070 Kg

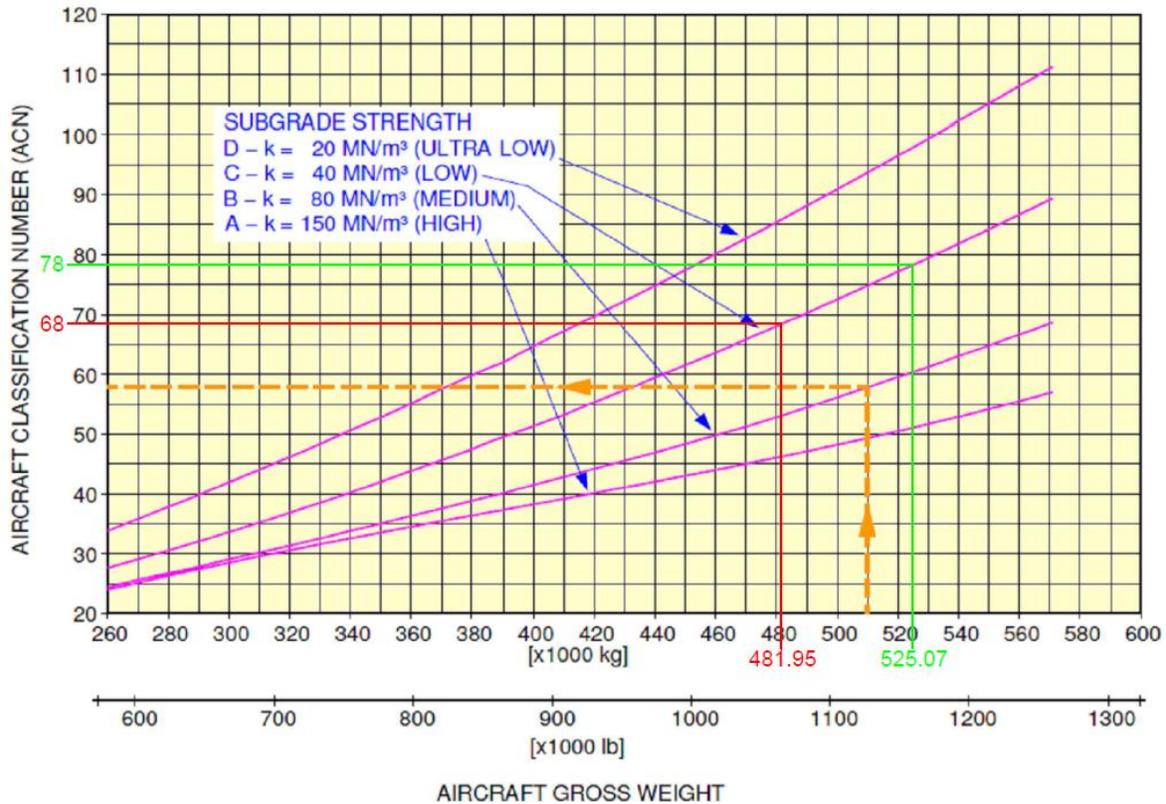


Figura 19 "Número de clasificación del A380 en el AICM - Pavimento rígido - 41% MAC"

Los cálculos del ACN para pavimento rígido con un CG al 41%MAC (Figura 19) en el AICM se determinaron para las categorías C, puesto que sólo algunas de las calles de rodaje, pistas y plataformas tienen esta categoría en el terreno de fundación.

### Comparativo del ACN del A380 con el PCN de las pistas del AICM

En la tabla 30 se muestran las características físicas de las pistas y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 481 950 Kg a 525 070 Kg y con centro de gravedad al 43% de MAC.

*Tabla 30 "Dimensiones de las pistas y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AICM"*

Designadores	Dimensiones (m)	Resistencia (PCN)	ACN 43% MAC		¿Cumple?
			481 950Kg	525 070 Kg	
<b>05L 23R</b>	3963 x 45	100/F/D/X/T ASPH	84	95	Si
<b>05R 23L</b>	3985 x 45	100/F/D/X/T ASPH	84	95	Si

En la tabla 31 se muestran las características físicas de las pistas y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 481 950 Kg a 525 070 Kg y con centro de gravedad al 41% de MAC.

*Tabla 31 "Dimensiones de las pistas y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AICM"*

Designadores	Dimensiones (m)	Resistencia (PCN)	ACN 41% MAC		¿Cumple?
			481 950Kg	525 070 Kg	
<b>05L 23R</b>	3963 x 45	100/F/D/X/T ASPH	83	94	Si
<b>05R 23L</b>	3985 x 45	100/F/D/X/T ASPH	83	94	Si

De las tablas anteriores se puede concluir que el A380 puede operar en ambas pistas con los pesos máximos anteriormente citados. Sin embargo, los cálculos de peso máximo de despegue sólo se aplicaron a la pista 05R/23L, por lo tanto el peso de despegue permisible para la pista 05L/23R se verá considerablemente disminuido debido a que tiene una menor longitud.

### Comparativo del ACN del A380 con el PCN de las calles de rodaje del AICM

En la tabla 32 se muestran las características físicas de las calles de rodaje y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 481 950 Kg a 525 070 Kg y con centro de gravedad al 43% de MAC.

Tabla 32 "Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AICM"

Designador	Anchura (m)	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN 43% MAC		¿Cumple?
				481 950 Kg	525 070 Kg	
<b>A</b>	23	ASPH	85/F/B/X/T	52	58	Si
<b>A1</b>	23	ASPH	120/F/D/X/T	84	95	Si
<b>A2</b>	23	ASPH	83/F/C/X/T	60	68	Si
<b>A4</b>	23	ASPH	120/F/C/X/T	60	68	Si
<b>A5</b>	23	ASPH	120/F/C/X/T	60	68	Si
<b>B</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>B1</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>B2</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>B3</b>	23	ASPH	73/F/C/X/T	60	68	Si
<b>B4</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>B5</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>B6</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>B7</b>	23	ASPH	75/F/C/X/T	60	68	Si
<b>B8</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>B9</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>C</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>C1</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>C2</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>C3</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>D</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>D1</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>E</b>	23	ASPH	-			No
<b>ENTRE 05L Y PH</b>			100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>ENTRE PH Y B3</b>			120/F/C/X/T	60	68	Si
<b>E1</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>E2</b>	23	ASPH	75/F/C/X/T	60	68	Si
<b>F</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>G</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>H</b>	25	ASPH	120/F/C/X/T	60	68	Si
<b>H1</b>	25	ASPH	120/F/C/X/T	60	68	Si
<b>J</b>	25	ASPH	120/F/C/X/T	60	68	Si
<b>K</b>	25	ASPH	120/F/C/X/T	60	68	Si
<b>L</b>	25	ASPH	120/F/C/X/T	60	68	Si
<b>PH</b>	25	ASPH	120/F/A/X/T	48	53	Si

En la tabla 33 se muestran las características físicas de las calles de rodaje y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 481 950 Kg a 525 070 Kg y con centro de gravedad al 41% de MAC.

*Tabla 33 "Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AICM"*

Designador	Anchura (m)	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN 41% MAC		¿Cumple?
				481 950 Kg	525 070 Kg	
<b>A</b>	23	ASPH	85/F/B/X/T	51	57	Si
<b>A1</b>	23	ASPH	120/F/D/X/T	83	94	Si
<b>A2</b>	23	ASPH	83/F/C/X/T	59	67	Si
<b>A4</b>	23	ASPH	120/F/C/X/T	59	67	Si
<b>A5</b>	23	ASPH	120/F/C/X/T	59	67	Si
<b>B</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>B1</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>B2</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>B3</b>	23	ASPH	73/F/C/X/T	59	67	Si
<b>B4</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>B5</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>B6</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>B7</b>	23	ASPH	75/F/C/X/T	59	67	Si
<b>B8</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>B9</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>C</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>C1</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>C2</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>C3</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>D</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>D1</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>E</b>	23	ASPH	-			No
<b>ENTRE 05L Y PH</b>			100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>ENTRE PH Y B3</b>			120/F/C/X/T	59	67	Si
<b>E1</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>E2</b>	23	ASPH	75/F/C/X/T	59	67	Si
<b>F</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>G</b>	23	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>H</b>	25	ASPH	120/F/C/X/T	59	67	Si
<b>H1</b>	25	ASPH	120/F/C/X/T	59	67	Si
<b>J</b>	25	ASPH	120/F/C/X/T	59	67	Si
<b>K</b>	25	ASPH	120/F/C/X/T	59	67	Si
<b>L</b>	25	ASPH	120/F/C/X/T	59	67	Si
<b>PH</b>	25	ASPH	120/F/A/X/T	59	67	Si

### Comparativo del ACN del A380 con PCN de las plataformas del AICM

En la tabla 34 se muestran las características físicas de las plataformas del AICM y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 481,950 Kg a 525,070 Kg y con centro de gravedad al 43% de MAC.

*Tabla 34 "Superficie, resistencia de las plataformas y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AICM"*

Plataforma	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN al 43% MAC		¿Cumple?
			481 950 Kg	525 070 Kg	
<b>Sur</b>	ASPH	40/F/C/X/T	60	68	No
<b>Central</b>	ASPH	68/F/C/X/T	60	68	Si
	Concreto Hidráulico	100/R/C/X/T	69	79	Si
<b>Remota Norte</b>	Concreto Hidráulico	57/R/C/X/T	69	79	No
<b>Aduana</b>	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>Oriente</b>	ASPH	100/F/C/X/T	60	68	Si
<b>Tango</b>	ASPH	33/F/D/X/T	60	68	No
<b>T2</b>	Concreto Hidráulico	120/R/C/X/T	69	79	Si
<b>Remota T2 (EB)</b>	Concreto Hidráulico	120/R/C/X/T	69	79	Si

En la tabla 35 se muestran las características físicas de las plataformas del AICM y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 481,950 Kg a 525,070 Kg y con centro de gravedad al 41% de MAC.

*Tabla 35 "Superficie, resistencia de las plataformas y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AICM"*

Plataforma	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN al 41% MAC		¿Cumple?
			481 950 Kg	525 070 Kg	
<b>Sur</b>	ASPH	40/F/C/X/T	59	67	No
<b>Central</b>	ASPH	68/F/C/X/T	59	67	Si
	Concreto Hidráulico	100/R/C/X/T	68	78	Si
<b>Remota Norte</b>	Concreto Hidráulico	57/R/C/X/T	68	78	No
<b>Aduana</b>	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>Oriente</b>	ASPH	100/F/C/X/T	59	67	Si
<b>Tango</b>	ASPH	33/F/D/X/T	59	67	No
<b>T2</b>	Concreto Hidráulico	120/R/C/X/T	68	78	Si
<b>Remota T2 (EB)</b>	Concreto Hidráulico	120/R/C/X/T	68	78	Si

Cabe destacar que el A380 sólo tendrá la condición de peso máximo de despegue cuando éste haya sido despachado, lo cual sólo será en la plataforma T2 para el embarque de pasajeros y carga. Posteriormente se explicará a profundidad el porqué de esta condición.

#### 4.8.1.2 Aeropuerto Internacional de Guadalajara (AIG)

### Cálculo del ACN del A380 para el AIG

Para el cálculo del ACN del A380 relativo al terreno de cimentación del AIG se tomó como límite inferior del peso la carga máxima con la que el avión puede ser despachado en condiciones de temperatura de referencia (514 000 kg); para el límite superior se tomó como referencia el peso máximo con el que el avión puede ser despachado en condiciones ISA estándar (554 000 kg).

En las siguientes gráficas (Figuras 20, 21, 22 y 23) se muestran los cálculos del ACN relativos al terreno de fundación que tiene el AIG. El AIG cuenta con pavimentos flexibles de categoría A, B, C y D en la mayoría de las partes de su terreno de fundación (pistas, calles de rodaje o plataformas). En la siguiente sección de este documento se abordarán la clasificación y nombre de cada una de estas partes del terreno del aeropuerto. El AIG también cuenta con algunas superficies de pavimento rígido con categoría A, B, C y D.

Datos para el cálculo del ACN en el AIG:

Tipo de pavimento: Flexible

Centro de gravedad (CG): 43% MAC

Peso Máximo en Rampa (PMR): 562 000 Kg

Límites del Peso Máximo de despegue para el AIG: 514 000 kg – 554 000 kg

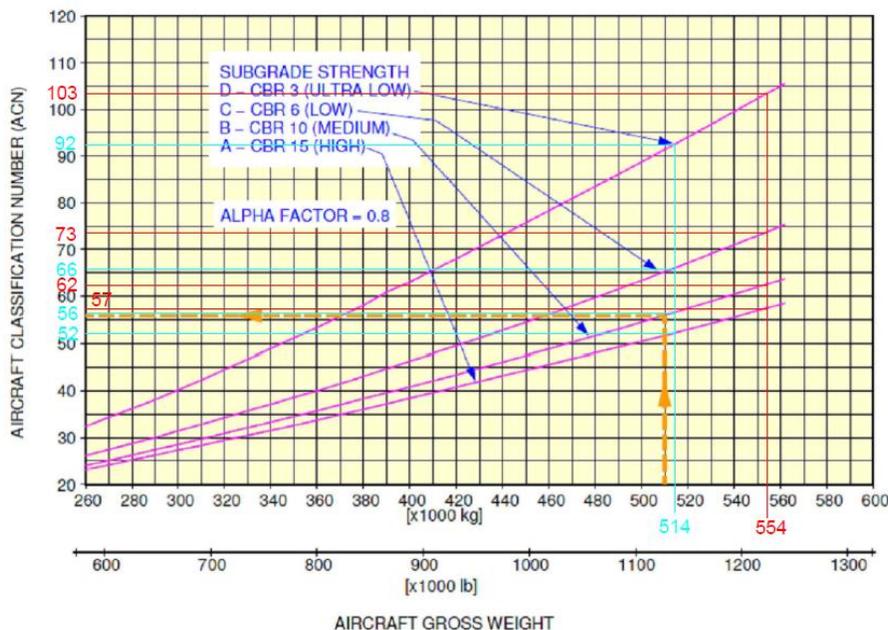


Figura 20 "Número de clasificación del A380 en el AIG - Pavimento flexible - 43% MAC"

Los cálculos del ACN para pavimento flexible con un CG al 43%MAC (Figura 20) en el AIG se determinaron para las categorías A, B, C y D, puesto que la mayoría de las calles de rodaje, pistas y plataformas presentan esta categoría en el terreno de fundación.

Datos:

Tipo de pavimento: Flexible

Centro de gravedad (CG): 41% MAC

Peso Máximo en Rampa (PMR): 571 000 Kg

Límites del Peso Máximo de despegue para el AIG: 514,000 kg – 554,000 Kg

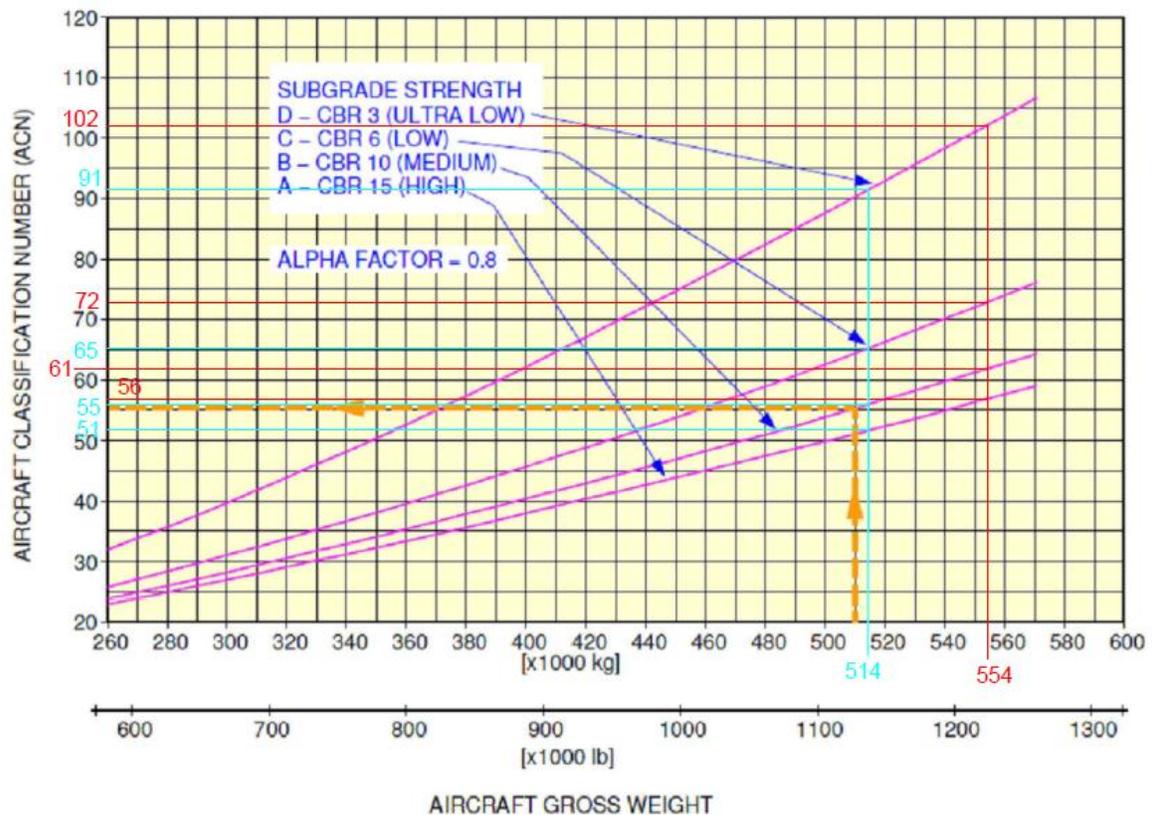


Figura 21 "Número de clasificación del A380 en el AIG - Pavimento flexible - 41% MAC"

Los cálculos del ACN para pavimento flexible con un CG al 41%MAC (Figura 21) en el AIG se determinaron para las categorías A, B, C y D, puesto que la mayoría de las calles de rodaje, pistas y plataformas tienen estas categorías en el terreno de fundación.

Datos:

Tipo de pavimento: Rígido

Centro de gravedad (CG): 43% MAC

Peso Máximo en Rampa (PMR): 562 000 Kg

Límites del Peso Máximo de despegue para el AIG: 514,000 kg – 554,000 Kg

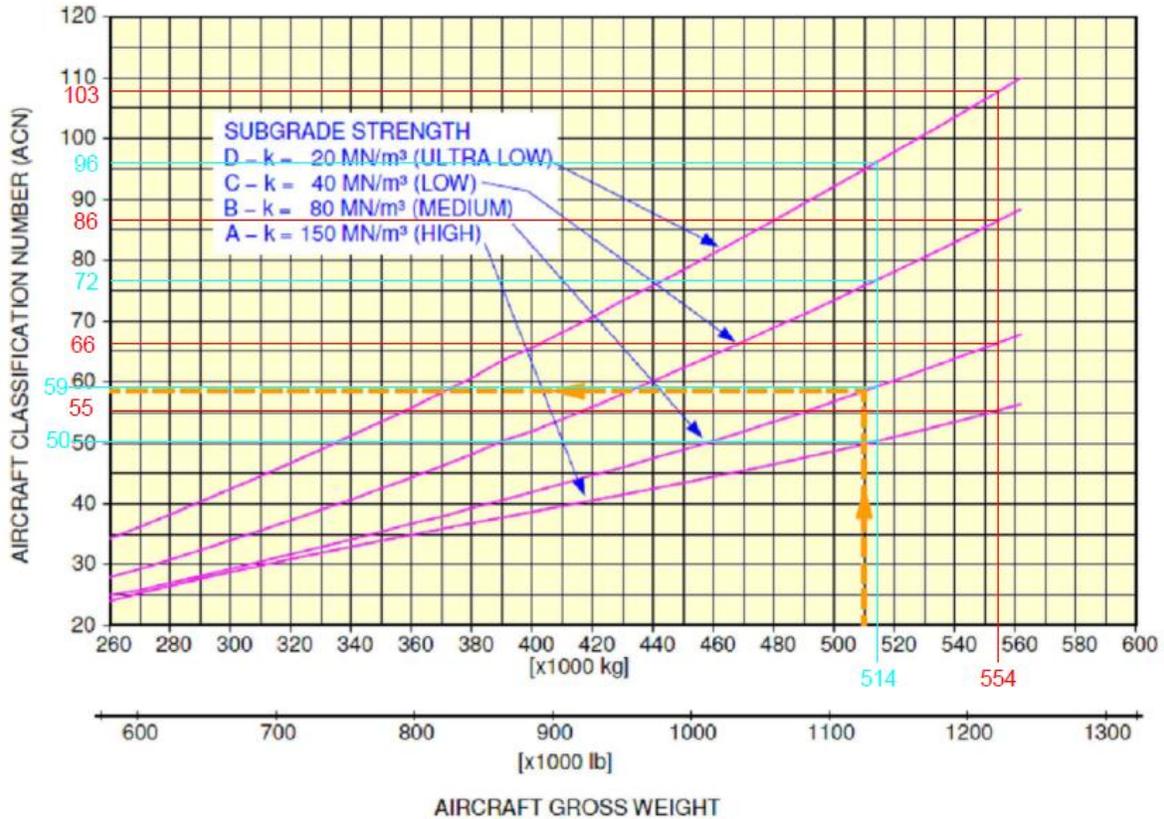


Figura 22 "Número de clasificación del A380 en el AIG - Pavimento rígido - 43% MAC"

Los cálculos del ACN para pavimento rígido con un CG al 43%MAC (Figura 22) en el AIG se determinaron para las categorías A, B, C y D, puesto que algunas de las calles de rodaje, pistas y/o plataformas tienen estas categorías en el terreno de fundación.

Datos:

Tipo de pavimento: Rígido

Centro de gravedad (CG): 41% MAC

Peso Máximo en Rampa (PMR): 571 000 Kg

Límites del Peso Máximo de despegue para el AIG: 481 950 – 525 070 Kg

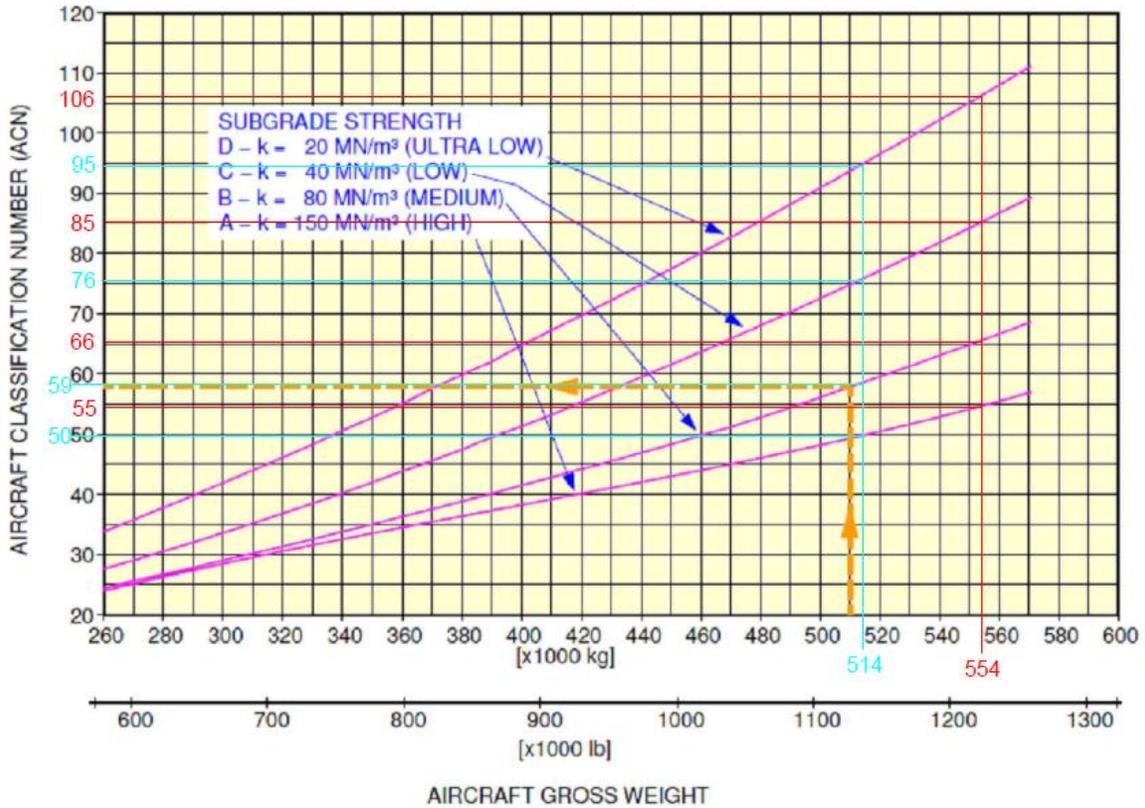


Figura 23 "Número de clasificación del A380 en el AIG- Pavimento rígido - 41% MAC"

Los cálculos del ACN para pavimento rígido con un CG al 41%MAC (Figura 23) en el AIG se determinaron para las categorías A, B, C y D, puesto que algunas de las calles de rodaje, pistas y plataformas tienen estas categorías en el terreno de fundación.

## Comparativo del ACN del A380 con el PCN de las pistas del AIG

En la tabla 36 se muestran las características físicas de las pistas y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 514,000 Kg a 554,000 Kg y con centro de gravedad al 43% de MAC.

*Tabla 36 "Dimensiones de las pistas y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AIG"*

Designadores	Dimensiones (m)	Resistencia (PCN)	ACN 43% MAC		¿Cumple?
			514,000 Kg	554,000 Kg	
<b>10/28</b>	4000 x 60	82/F/B/W/T Concreto	56	62	Si

En la tabla 37 se muestran las características físicas de las pistas y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 514,000 Kg a 554,000 Kg y con centro de gravedad al 41% de MAC.

*Tabla 37 "Dimensiones de las pistas y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIG"*

Designadores	Dimensiones (m)	Resistencia (PCN)	ACN 41% MAC		¿Cumple?
			514,000 Kg	554,000 Kg	
<b>10/28</b>	4000 x 60	82/F/B/W/T Concreto	55	61	Si

De las tablas anteriores se puede concluir que el A380 puede operar en la pistas 10 y 28 con los pesos máximos anteriormente citados.

### Comparativo del ACN del A380 con el PCN de las calles de rodaje del AIG

En la tabla 38 se muestran las características físicas de las calles de rodaje y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 514 000 Kg a 554 000 Kg y con centro de gravedad al 43% de MAC.

*Tabla 38" Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AIG"*

Designador	Anchura (m)	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN 43% MAC		¿Cumple?
				481 950 Kg	525 070 Kg	
<b>A</b>	23	Concreto	58/F/A/W	52	57	Si
<b>A1, A2</b>	23	Concreto	100/F/B/W	56	62	Si
<b>B</b>	23	Concreto	56/F/A/W	52	57	Si
<b>C</b>	23	Concreto	66/F/A/W	50	55	Si
<b>D</b>	23	Concreto	84/F/B/W	59	66	Si
<b>E</b>	23		59/F/A/W	52	57	Si
<b>F</b>	23	ASPH	54/F/A/W	52	57	Si
<b>G</b>	13	Concreto	31/F/A/W	52	57	No
<b>H, J</b>	23	Concreto	41/F/A/W	50	55	No
<b>K</b>	16	Concreto	30/F/A/W	52	57	No
<b>L, N, P</b>	13	Concreto	40/F/A/W	52	57	No
<b>M</b>	16	Concreto	40/F/A/W	52	57	No

En la tabla 39 se muestran las características físicas de las calles de rodaje y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 514 000 Kg a 554 000 Kg y con centro de gravedad al 41% de MAC.

*Tabla 39 "Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIG"*

Designador	Anchura (m)	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN 41% MAC		¿Cumple?
				481 950 Kg	525 070 Kg	
<b>A</b>	23	Concreto	58/F/A/W	51	56	Si
<b>A1, A2</b>	23	Concreto	100/F/B/W	55	61	Si
<b>B</b>	23	Concreto	56/F/A/W	51	56	Si
<b>C</b>	23	Concreto	66/F/A/W	50	55	Si
<b>D</b>	23	Concreto	84/F/B/W	59	66	Si
<b>E</b>	23		59/F/A/W	51	56	Si
<b>F</b>	23	ASPH	54/F/A/W	51	56	Si
<b>G</b>	13	Concreto	31/F/A/W	51	56	No
<b>H, J</b>	23	Concreto	41/F/A/W	50	55	No
<b>K</b>	16	Concreto	30/F/A/W	51	56	No
<b>L, N, P</b>	13	Concreto	40/F/A/W	51	56	No
<b>M</b>	16	Concreto	40/F/A/W	51	56	No

## Comparativo del ACN del A380 con el PCN de las plataformas del AIG

En la tabla 40 se muestran las características físicas de las plataformas del AIG y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 514,000 Kg a 554,000 Kg y con centro de gravedad al 43% de MAC.

*Tabla 40 "Superficie, resistencia de las plataformas y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AIG"*

Plataforma	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN al 43% MAC		¿Cumple?
			514 000kg	554 000kg	
<b>Comercial</b>	Concreto y ASPH	68/R/A/W/T	50	55	Si
<b>Carga</b>	ASPH	47/R/A/W/T	50	55	No
<b>Aviación General</b>	ASPH	47/F/A/W/T	52	57	No

En la tabla 41 se muestran las características físicas de las plataformas del AIG y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 514,000 Kg a 554,000 Kg y con centro de gravedad al 41% de MAC.

*Tabla 41 "Superficie, resistencia de las plataformas y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIG"*

Plataforma	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN al 41% MAC		¿Cumple?
			514 000kg	554 000kg	
<b>Comercial</b>	Concreto y ASPH	68/R/A/W/T	50	55	Si
<b>Carga</b>	ASPH	47/R/A/W/T	50	55	No
<b>Aviación General</b>	ASPH	47/F/A/W/T	51	56	No

Cabe destacar que el A380 sólo tendrá la condición de peso máximo de despegue cuando este haya sido despachado, sin embargo, el AIG por su condición de aeropuerto alternativo no tendrá la condición de peso máximo de despegue debido a que el A380 estará forzado a llegar al AICM para el desembarque, embarque de pasajeros y servicio de combustible para un vuelo de largo alcance. Por tal motivo, a pesar de que algunas plataformas y calles de rodaje no cumplen con los ACN calculados, el avión no tendrá el peso máximo de despegue con el cual fueron calculados tales ACNs.

### 4.8.1.3 Cálculo del ACN del A380 para el AIC

Para el cálculo del ACN del A380 relativo al terreno de cimentación del AIC se tomó como límite inferior del peso la carga máxima con la que el avión puede ser despachado en condiciones de temperatura de referencia (563 800 kg); para el límite superior se tomó como referencia el peso máximo con el que el avión puede ser despachado en condiciones ISA estándar (597 000 kg).

En las siguientes gráficas (Figuras 24, 25, 26 y 27) se muestran los cálculos del ACN relativos al terreno de fundación que tiene el AIC. El AIC cuenta con pavimentos flexibles de categoría A en algunas partes de su terreno de fundación (pistas, calles de rodaje o plataformas). En la siguiente sección de este documento se abordará la clasificación y nombre de cada una de estas partes del terreno del aeropuerto. El AIC también cuenta con algunas superficies de pavimento rígido con categoría B.

Datos para el cálculo del ACN en el AICM:

Tipo de pavimento: Flexible

Centro de gravedad (CG): 43% MAC

Peso Máximo en Rampa (PMR): 562 000 Kg

Límites del Peso Máximo de despegue para el AICM: 481 950 – 525 070 Kg

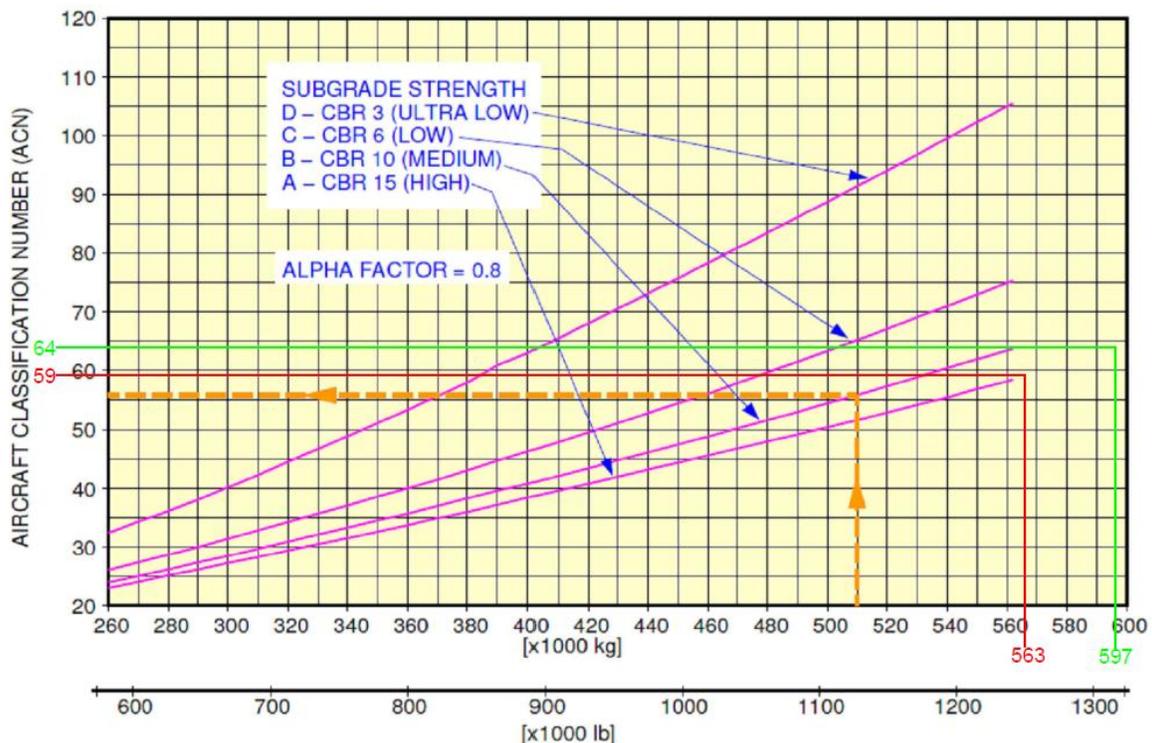


Figura 24 "Número de clasificación del A380 en el AIC - Pavimento flexible - 43% MAC"

Los cálculos del ACN para pavimento flexible con un CG al 43%MAC (Figura 24) en el AIC se determinaron para la categoría A, puesto que algunas de las calles de rodaje, pistas y plataformas tienen estas categorías en el terreno de fundación.

Datos:

Tipo de pavimento: Flexible

Centro de gravedad (CG): 41% MAC

Peso Máximo en Rampa (PMR): 571 000 Kg

Límites del Peso Máximo de despegue para el AICM: 481 950 – 525 070 Kg

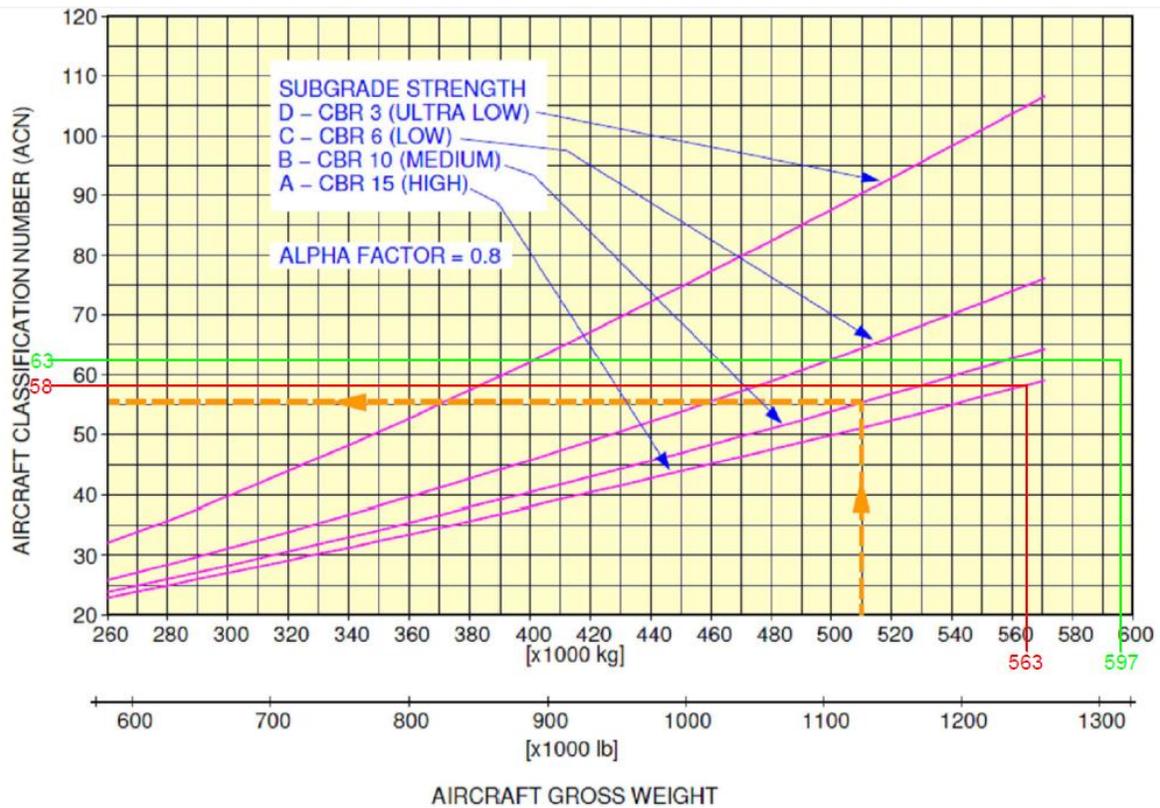


Figura 25 "Número de clasificación del A380 en el AIC - Pavimento flexible - 41% MAC"

Los cálculos del ACN para pavimento flexible con un CG al 41%MAC (Figura 25) en el AIC se determinaron para la categoría A, puesto que algunas de las calles de rodaje, pistas y plataformas tienen estas categorías en el terreno de fundación.

Datos:

Tipo de pavimento: Rígido

Centro de gravedad (CG): 43% MAC

Peso Máximo en Rampa (PMR): 562 000 Kg

Límites del Peso Máximo de despegue para el AICM: 481 950 – 525 070 Kg

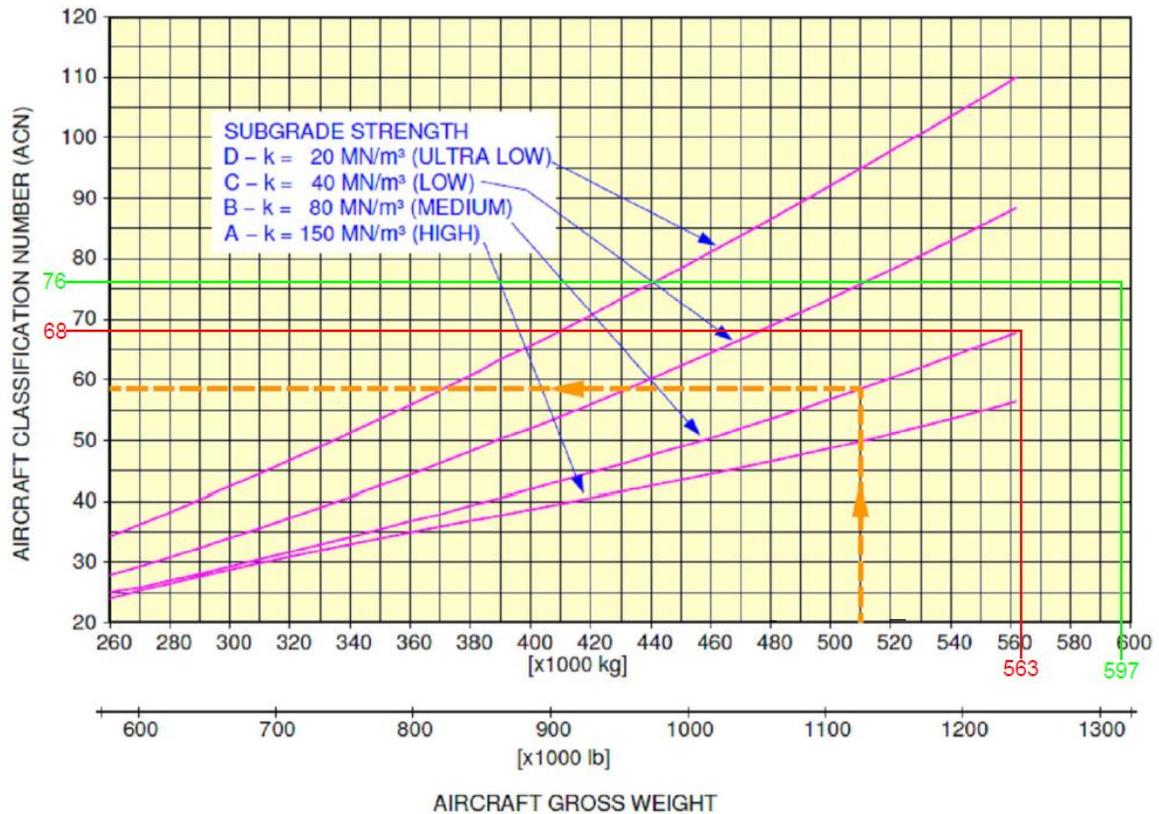


Figura 26 "Número de clasificación del A380 en el AIC - Pavimento rígido - 43% MAC"

Los cálculos del ACN para pavimento rígido con un CG al 43%MAC (Figura 26) en el AIC se determinaron para la categoría B, puesto que algunas de las calles de rodaje, pistas y plataformas tienen estas categorías en el terreno de fundación.

Datos:

Tipo de pavimento: Rígido

Centro de gravedad (CG): 41% MAC

Peso Máximo en Rampa (PMR): 571 000 Kg

Límites del Peso Máximo de despegue para el AICM: 481 950 – 525 070 Kg

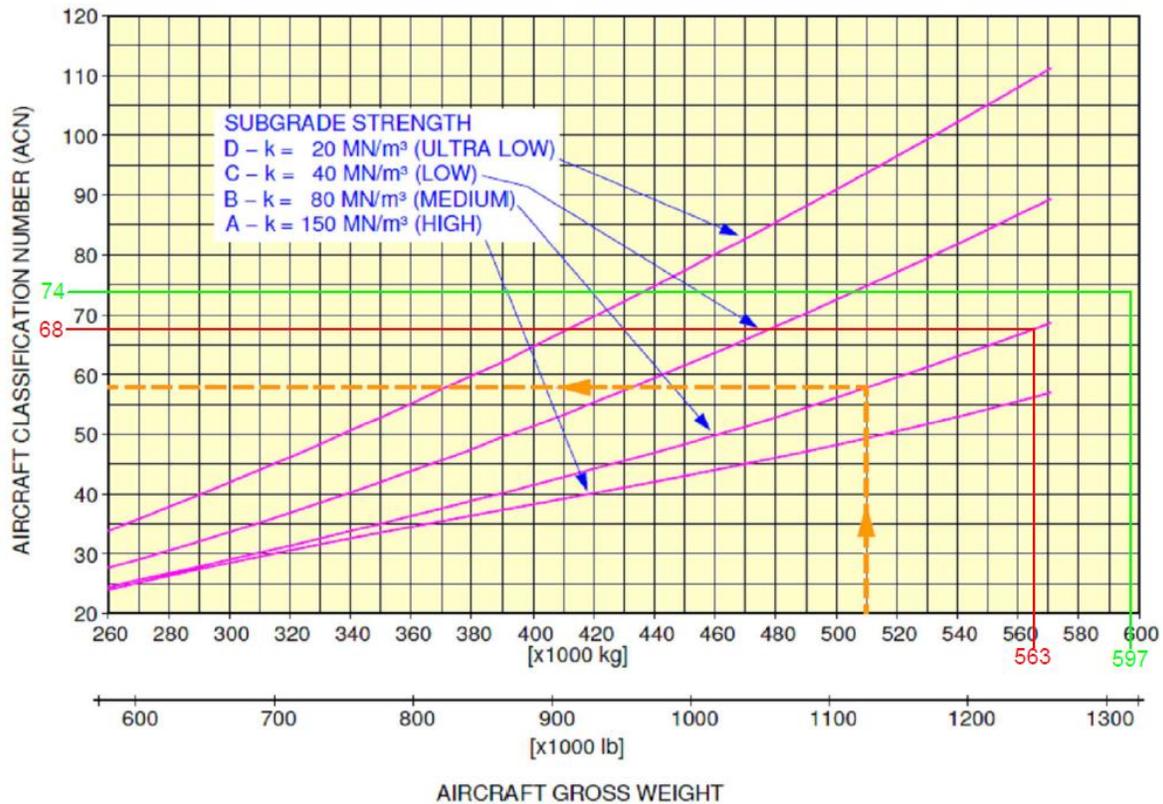


Figura 27 "Número de clasificación del A380 en el AIC - Pavimento rígido - 41% MAC"

Los cálculos del ACN para pavimento rígido con un CG al 41%MAC (Figura 27) en el AIC se determinaron para la categoría B, puesto que algunas de las calles de rodaje, pistas y plataformas tienen estas categorías en el terreno de fundación.

### Comparativo del ACN del A380 con el PCN de las pistas del AIC

En la tabla 42 se muestran las características físicas de las pistas y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 563 800 kg a 597 000 kg y con centro de gravedad al 43% de MAC.

*Tabla 42 "Dimensiones de las pistas y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AIC"*

Designadores	Dimensiones (m)	Resistencia (PCN)	ACN 43% MAC		¿Cumple?
			563 800kg	597 000kg	
<b>12R</b>	3500 x 60	78/F/D/X/T ASPH	59	64	Si
<b>30L</b>	3500 x 60	78/F/D/X/T ASPH	59	64	Si

En la tabla 43 se muestran las características físicas de las pistas y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 563 800 kg a 597 000 kg y con centro de gravedad al 41% de MAC.

*Tabla 43 "Dimensiones de las pistas y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIC"*

Designadores	Dimensiones (m)	Resistencia (PCN)	ACN 41% MAC		¿Cumple?
			563 800kg	597 000kg	
<b>12R</b>	3500 x 60	78/F/D/X/T ASPH	58	63	Si
<b>30L</b>	3500 x 60	78/F/D/X/T ASPH	58	63	Si

De las tablas anteriores se puede concluir que el A380 puede operar en la pista 12R/30L con los pesos máximos anteriormente citados.

### Comparativo del ACN del A380 con el PCN de las calles de rodaje del AIC

En la tabla 44 se muestran las características físicas de las calles de rodaje y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 563 800 kg a 597 000 kg y con centro de gravedad al 43% de MAC.

*Tabla 44 "Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AIC"*

Designador	Anchura (m)	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN 43% MAC		¿Cumple?
				563 800kg	597 000kg	
<b>A</b>	23	ASPH	83/F/A/X/T	59	64	Si
<b>A1</b>	23	ASPH	71/F/A/X/T	59	64	Si
<b>A2</b>	23	ASPH	80/F/A/X/T	59	64	Si
<b>A3</b>	23	Concreto	46/F/B/X/T	68	76	No
<b>A4</b>	23	ASPH	28/F/A/X/T	59	64	No
<b>B</b>	23	ASPH	76/F/A/X/T	59	64	Si
<b>B1</b>	40	ASPH	83/F/A/X/T	59	64	Si
<b>C</b>	23	Concreto	50/R/A/W/T	57	63	No
<b>C1</b>	45	Concreto	50/R/A/W/T	57	63	No
<b>C2</b>	23	Concreto	55/R/B/X/U	68	76	No
<b>D</b>	23	Concreto	50/R/A/X/T	57	63	No
<b>D1</b>	23	Concreto	71/F/A/X/T	57	63	Si
<b>E</b>	23	Concreto	77/R/A/W/T	57	63	Si
<b>F</b>	25	ASPH	70/F/A/X/T	59	64	Si
<b>G</b>	25	ASPH	70/F/A/X/T	59	64	Si
<b>H</b>	25	ASPH	70/F/A/X/T	59	64	Si

En las tablas 45.1 y 46.2 se muestran las características físicas de las calles de rodaje y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 563,800 kg a 597,000 kg y con centro de gravedad al 41% de MAC.

*Tabla 45.1 "Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIC"*

Designador	Anchura (m)	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN 41% MAC		¿Cumple?
				563 800kg	597 000kg	
<b>A</b>	23	ASPH	83/F/A/X/T	58	63	Si
<b>A1</b>	23	ASPH	71/F/A/X/T	58	63	Si
<b>A2</b>	23	ASPH	80/F/A/X/T	58	63	Si
<b>A3</b>	23	Concreto	46/F/B/X/T	68	74	No
<b>A4</b>	23	ASPH	28/F/A/X/T	58	63	No
<b>B</b>	23	ASPH	76/F/A/X/T	58	63	Si
<b>B1</b>	40	ASPH	83/F/A/X/T	58	63	Si
<b>C</b>	23	Concreto	50/R/A/W/T	56	61	No
<b>C1</b>	45	Concreto	50/R/A/W/T	56	61	No
<b>C2</b>	23	Concreto	55/R/B/X/U	68	74	No

**Tabla 45.2 "Anchura, superficie, resistencia de las calles de rodaje y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIC"**

Designador	Anchura (m)	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN 41% MAC		¿Cumple?
				563 800kg	597 000kg	
<b>D</b>	23	Concreto	50/R/A/X/T	56	61	No
<b>D1</b>	23	Concreto	71/F/A/X/T	56	61	Si
<b>E</b>	23	Concreto	77/R/A/W/T	56	61	Si
<b>F</b>	25	ASPH	70/F/A/X/T	58	63	Si
<b>G</b>	25	ASPH	70/F/A/X/T	58	63	Si
<b>H</b>	25	ASPH	70/F/A/X/T	58	63	Si

### Comparativo del ACN del A380 con el PCN de las plataformas del AIC

En la tabla 46 se muestran las características físicas de las plataformas del AIC y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 563,800 kg a 597,000 kg y con centro de gravedad al 43% de MAC.

**Tabla 46 "Superficie, resistencia de las plataformas y comparación del ACN-PCN al 43% MAC del AIC"**

Plataforma	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN al 43% MAC		¿Cumple?
			563 800kg	597 000kg	
<b>Terminal 1</b>	Concreto	40/R/B/X/T	68	76	No
<b>Terminal 2</b>	ASPH	71/F/A/X/T	59	64	Si
<b>Terminal 2</b>	Concreto	50/R/A/W/T	57	63	No
<b>Terminal 3</b>	Concreto	55/R/B/X/U	68	76	No
<b>General</b>	ASPH	80/F/A/X/T	59	64	Si
<b>Pernocta</b>	ASPH	28/F/A/X/T	59	64	No

En la tabla 47 se muestran las características físicas de las plataformas del AIC y la comparación con el ACN del A380 con un peso máximo de despegue de 563,800 kg a 597,000 kg y con centro de gravedad al 41% de MAC.

**Tabla 47 "Superficie, resistencia de las plataformas y comparación del ACN-PCN al 41% MAC del AIC"**

Plataforma	Superficie	Resistencia (PCN)	ACN al 41% MAC		¿Cumple?
			563 800kg	597 000kg	
<b>Terminal 1</b>	Concreto	40/R/B/X/T	68	74	No
<b>Terminal 2</b>	ASPH	71/F/A/X/T	58	63	Si
<b>Terminal 2</b>	Concreto	50/R/A/W/T	56	61	No
<b>Terminal 3</b>	Concreto	55/R/B/X/U	56	61	No
<b>General</b>	ASPH	80/F/A/X/T	58	63	Si
<b>Pernocta</b>	ASPH	28/F/A/X/T	58	63	No

Cabe destacar que el A380 sólo tendrá la condición de peso máximo de despegue cuando este haya sido despachado, sin embargo, el AIC por su condición de aeropuerto alternativo no tendrá la condición de peso máximo de despegue debido a que el A380 estará forzado a llegar al AICM para el desembarque, embarque de pasajeros y servicio de combustible para un vuelo de largo alcance. Por tal motivo, a pesar de que algunas plataformas y calles de rodaje no cumplen con los ACN calculados, el avión no tendrá el peso máximo de despegue con el cual fueron calculados tales ACN's.

## 4.9 Análisis de la geometría de las calles de rodaje

### 4.9.1 Calle de rodaje

Es la vía definida en un aeródromo terrestre, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo, incluyendo:

- a) Calle de acceso al puesto de estacionamiento de la aeronave. Es la parte de una plataforma designada como calle de rodaje y destinada únicamente a proporcionar acceso a los puestos de estacionamiento de aeronaves.
- b) Calles de rodaje en la plataforma. Son la parte de un sistema de calles de rodaje situada en una plataforma y destinada a proporcionar una vía para el rodaje a través de la plataforma.
- c) Calle de salida rápida: Calle de rodaje que se une a una pista en un ángulo agudo y está proyectada de modo que permita a los aviones que aterrizan virar a velocidades mayores que las que se logran en otras calles de rodaje de salida, logrando así que la pista esté ocupada el mínimo tiempo posible.

En el anexo 14 de la OACI, parte 3.9 “Calles de rodaje”, se recomienda que *“El trazado de una calle de rodaje debería ser tal que, cuando el puesto de pilotaje de los aviones para los que está prevista permanezca sobre las señales de eje de dicha calle, la distancia libre entre la rueda exterior del tren principal del avión y el borde de la calle de rodaje no sea inferior a 4.5m para aeropuertos con categoría D, F y E.*

La longitud entre ruedas del tren principal del A380 es de 14.33m como podemos observar en la figura 28; al sumarle los 4.5m de cada extremo de las ruedas del tren principal resulta un ancho total de 23.33m de calle de rodaje requerido.

El ancho de las calles de rodajes del AICM son de 23m para la mayoría, excepto para A1, H, H1, J, K, L Y PH que son de 25m de ancho.

El ancho de las calles de rodaje del AIG son de 23m para la mayoría, excepto para el rodaje K y M con 16 m de ancho, y G con 13 metros.

El ancho de las calles de rodajes del AIC son de 23m para la mayoría, excepto para B1 con 40m de ancho, C1 con 45m de ancho y F, G y H con 25m de ancho.

Sin embargo la OACI en su mismo anexo establece que la anchura rectilínea de una calle de rodaje no deberá de ser menor de 23m para aeropuertos de categoría “D” y “E”, y no menor a 25m para aeropuertos de categoría “F”

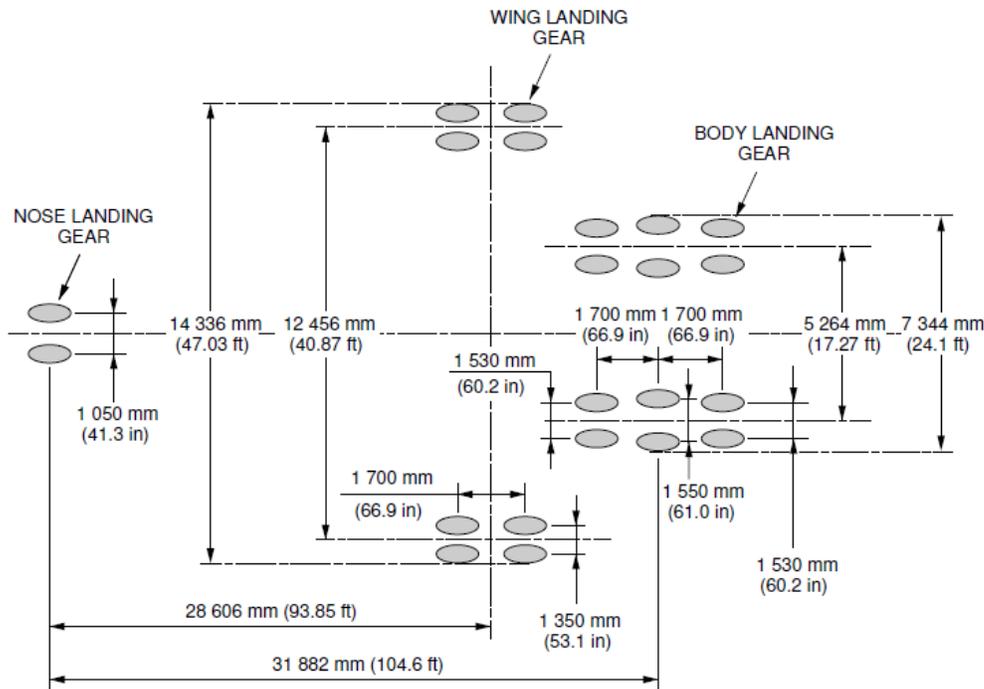


Figura 28 "Huella del tren de aterrizaje del A380"

El AICM, el AIG y el AIC al tener una categoría “D” cumplen con los requisitos establecidos para esta misma según la OACI, sin embargo por la longitud entre ruedas del tren principal del A380, la OACI establece que se necesitan anchos de rodaje de 25 m para aeropuertos en los que opere este avión.

Por otra parte, el Manual de diseños de aeródromos (Doc. 9157), parte 2, apartado 1.2.31 establece que: “La experiencia práctica en operaciones con aeronaves grandes en aeródromos cuyo diseño no corresponde a las especificaciones que requiere ese tipo de aeronaves ha demostrado que es posible lograr un funcionamiento seguro y regular, aunque tal vez mediante la adopción de ciertas medidas específicas (utilización de trayectos de rodajes seleccionados, de calles de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves designadas, etc.) dado que puede haber una variedad de aspectos adversos que no afectan necesariamente al entorno operacional de un aeródromo determinado”.

## Separación mínima de calle de rodaje

La separación entre el eje de una calle de rodaje y el eje de una pista, de otra calle de rodaje o un objeto no deberá interferir a la dimensión apropiada para la clave de referencia del avión.

La distancia mínima entre una calle de rodaje paralela al eje de la una pista para un aeropuerto de categoría "D" es de 176 m, sin embargo, para la operación del A380 se necesita una distancia de separación de 190 m que corresponde a la distancia requerida para un aeropuerto de categoría "F".

Las separaciones relativas entre calles de rodajes en la plataforma se basan en la envergadura de la aeronave y la desviación lateral máxima (distancia libre entre las ruedas y el borde de la calle de rodaje que es de 4.5m para aeródromos con categoría D, E y F).

Para las calles de acceso a los puestos de estacionamiento de aeronave se considera apropiado establecer distancias menores, ya que las velocidades de rodaje son normalmente inferiores al rodar sobre estas calles y la mayor atención que prestan los pilotos produce desviaciones menos importantes con respecto al eje de la calle.

La tabla 48 muestra la separación mínima que debe de haber entre una calle de rodaje paralela a una pista, otra calle de rodaje y la separación que debe de tener con respecto a otro tipo de objetos (otras aeronaves, calle de rodaje de vehículos, etc.).

*Tabla 48 "Separación mínima entre calle de rodaje y pista, calle de rodaje y objeto"*

Separación (m)	Categoría del aeropuerto					
	A	B	C	D	E	F
Entre el eje de una pista de vuelos por instrumentos y una calle de rodaje paralela a ésta.	82.5	87	168	176	182.5	190
Entre eje de calle de rodaje/calle de rodaje en la plataforma y eje de calle de rodaje.	23.77	33.50	44	66.5	80.0	97.5
Entre eje de calle de rodaje y objeto.	16.25	21.50	26	40.5	47.5	57.5
Entre eje de la calle de rodaje en la plataforma y objeto.	16.25	21.50	26	40.5	47.5	57.5
Entre eje de calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves y objetos.	12.0	16.50	24.50	36.0	42.5	50.5

El análisis de separación mínima de las calles de rodaje se hizo sólo para el AICM debido a que, de los tres aeropuertos (AICM, AIG y AIC), es el que tiene la mayor limitación de espacio debido a la gran cantidad de operaciones que alberga, mayor limitación del área de crecimiento y mayor cantidad de calles de rodaje.

## Separación de las calles de rodaje del AICM

La figura 29 muestra las separaciones de los rodajes “D” y “E” con la pista 05R/23L, entre los mismos rodajes y con los aviones (objetos) ubicados en la plataforma “Tango”. Estos rodajes son de gran importancia para la operación en tierra del A380 debido a que son los encargados de unir las plataformas T2, Tango, Oriente y la plataforma remota T2 con el umbral de la pista 23L del AICM.



*Figura 29 "Separación de las calles de rodaje D y E con la pista, entre ellas y con objetos"*

De la figura 29 se puede concluir que la calle de rodaje D permite que la pista 05R/23L pueda operar normalmente aun cuando el A380 esté rodando sobre dicha calle, ya que cumple con la separación mínima entre el eje del rodaje y el eje de la pista para operaciones con este avión. El rodaje E (el cual se planteó para la ruta en tierra del A380) no cumple con la separación mínima entre calles de rodaje y objetos (aeronaves de la plataforma “T”), por tal motivo en las siguientes secciones se plantea la nueva ruta que el avión podría seguir en tierra.

#### 4.9.2 Curvas de las calles de rodaje

Los cambios de dirección de las calles de rodaje no deberán ser muy numerosos ni pronunciados en la medida de lo posible. Los radios de las curvas deberán ser compatibles con la capacidad de maniobra y con las velocidades de rodaje normales de los aviones para los que dicha calle de rodaje esté prevista. El diseño de la curva deberá ser tal que cuando el puesto de pilotaje del avión permanezca sobre las señales de eje de calle de rodaje, la distancia libre entre las ruedas principales exteriores y el borde de la calle de rodaje no sea inferior a 4.5m para aeropuertos de categoría "D" en adelante.

Para el cálculo de los radios de las curvas requeridas para la operación en tierra del A380 el fabricante incluye en su manual "Airplane Characteristics for Airport Planning", sección 4 "Ground Maneuvering" los radios de giro necesarios para calcular las curvas de las calles de rodaje que cumplan con sus especificaciones. En la figura 30 se observan las distintas trayectorias curvas que seguiría la aeronave en un viraje en tierra con sus respectivos radios.

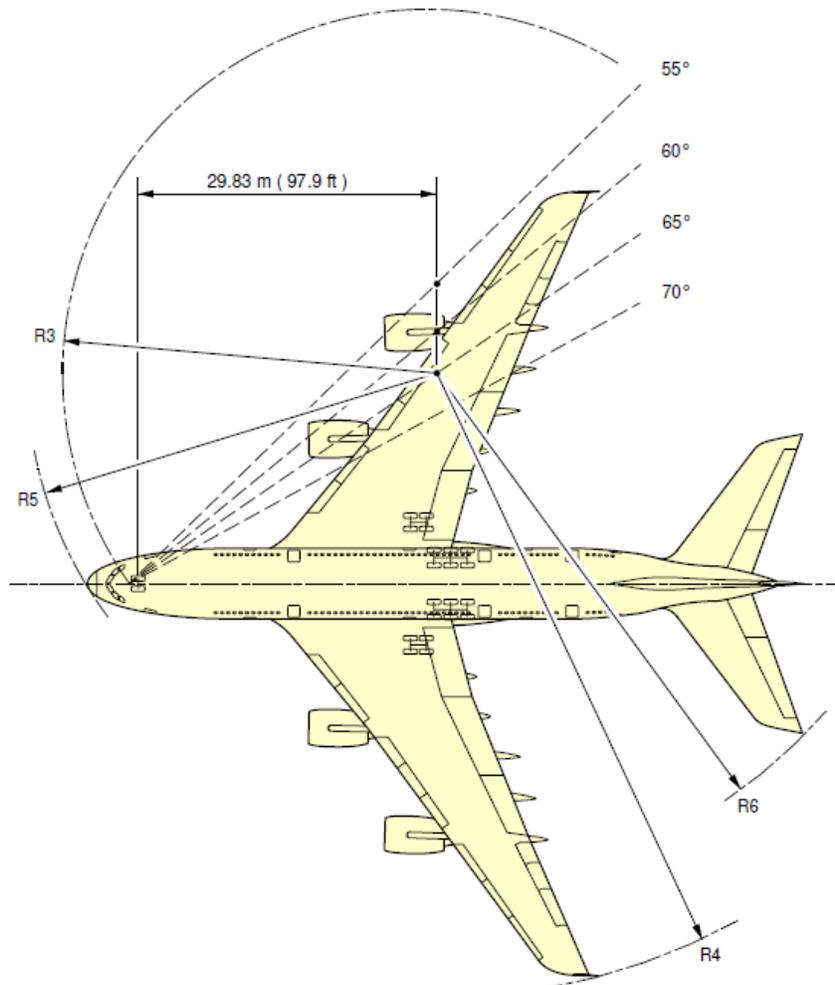


Figura 30 "Radios de giro del A380"

En la tabla 49 se muestran los radios requeridos para los distintos ángulos de giro o de dirección. Cabe destacar que hay dos formas de hacer un viraje en tierra: tipo 1 o de empuje asimétrico cuando sólo uno o dos motores de cada ala generan más empuje que los motores de la otra ala, produciendo un momento que hace girar al avión auxiliándose también con los frenos, y tipo 2 con empuje simétrico sin frenos activados.

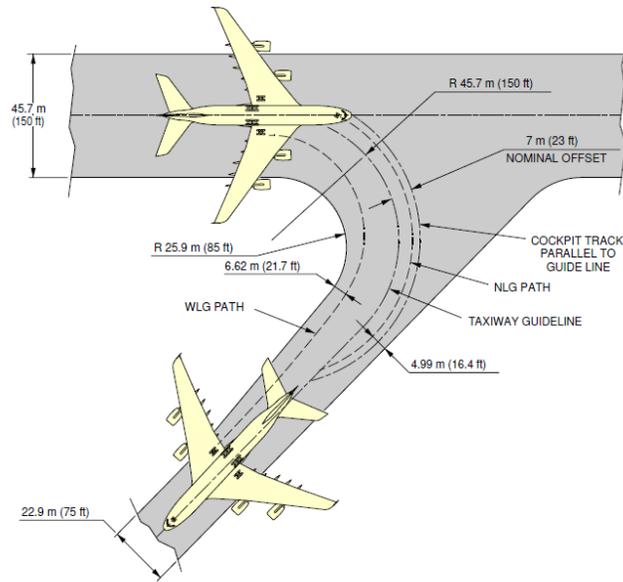
*Tabla 49 "Radios de giro del A380"*

Tipo de giro	Angulo de giro	Angulo efectivo de giro	R3(m)	R4(m)	R5(m)	R6(m)
2	20°	17.9°	<b>100.16</b>	135.45	101.01	115.87
2	25°	22.7°	<b>78.86</b>	113.14	80.12	94.90
2	30°	27.5°	<b>65.69</b>	98.90	67.33	81.91
2	35°	32.1°	<b>56.84</b>	88.97	58.83	73.13
2	40°	36.6°	<b>50.59</b>	81.61	52.89	66.84
2	45°	41.0°	<b>46.02</b>	75.94	48.61	62.16
2	50°	45.1°	<b>42.61</b>	71.43	45.45	58.57
1	55°	51.2°	<b>40.13</b>	67.02	43.22	55.43
1	60°	57.3°	<b>37.64</b>	62.60	40.98	52.29
1	65°	63.4°	<b>35.15</b>	58.18	38.75	49.15
1	70°	69.5°	<b>32.66</b>	53.76	36.52	46.01

El radio utilizado para la comparación entre los radios requeridos por el avión y los existentes en el AICM, AIC y AIG será **R3**, ya que es el que recorrerá el tren de nariz y es el marcado en los ejes de las calles de rodaje.

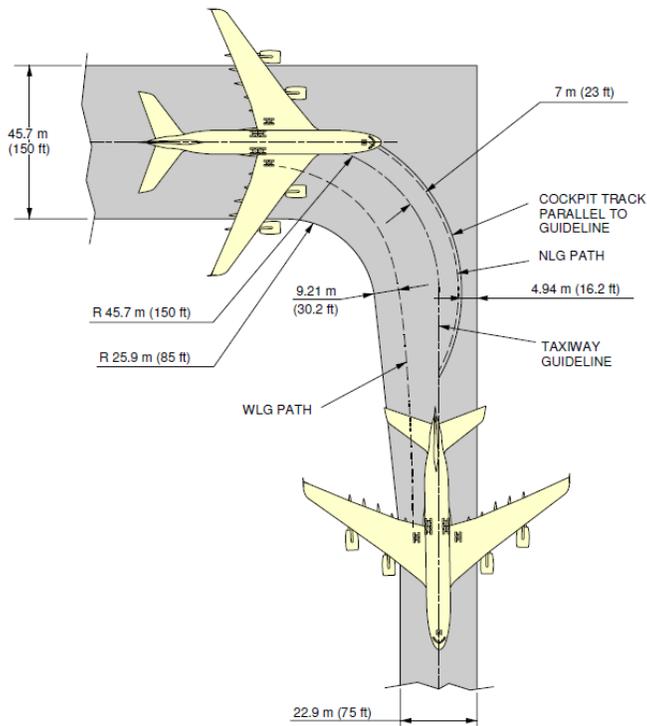
En el manual "Airplane Characteristics For Airport Planning", sección 4 "Ground Maneuvering" Airbus establece las características de las curvas de las calles de rodaje cuando éstas se encuentran a 90° y a 45° (cuando el avión tiene que hacer un giro de 135°), y cuando son curvas de enlace entre pistas y calles de rodaje o enlaces entre calles de rodajes. Tales características se muestran en las siguientes imágenes.

En la figura 31 se muestran las dimensiones de las curvas de enlace entre una pista de 45 m de ancho y una calle de rodaje de 23 m. El radio de la curva del eje guía no debe ser menor a 45.7 m cuando la pista y la calle de rodaje están a 45° de separación angular. Esta condición sólo es válida para el AICM, puesto que el AIG y el AIC cuentan con pistas de 60 m de ancho.



**Figura 31" Giro de 135°, Pista - calle de rodaje"**

La figura 32 muestra las dimensiones de las curvas de enlace entre pista y calle de rodaje. El radio de la curva del eje guía no debe de ser menor a 45.7 m cuando la pista y la calle de rodaje estan a 90° de separación angular.



**Figura 32 "Giro de 90°, Pista- calle de rodaje"**

La figura 33 muestra las dimensiones de las curvas de enlace entre calles de rodaje de 23 m de ancho. El radio de la curva del eje guía no debe ser menor a 45.7 m cuando las calles de rodaje están a 45° de separación angular.

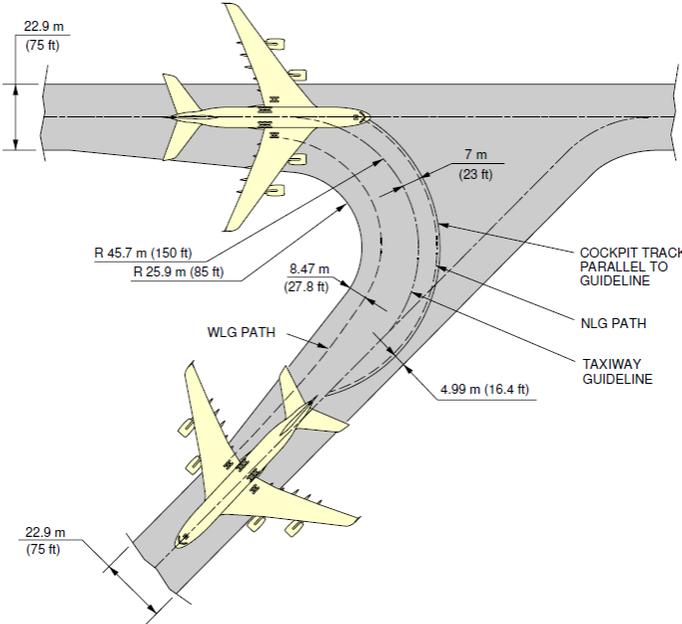


Figura 33 "Giro de 135°, calle de rodaje-calle de rodaje"

La figura 34 muestra las dimensiones de las curvas de enlace entre calles de rodaje de 23 m de ancho. El radio de la curva del eje guía no debe ser menor a 45.7 m cuando las calles de rodaje están a 90° de separación angular.

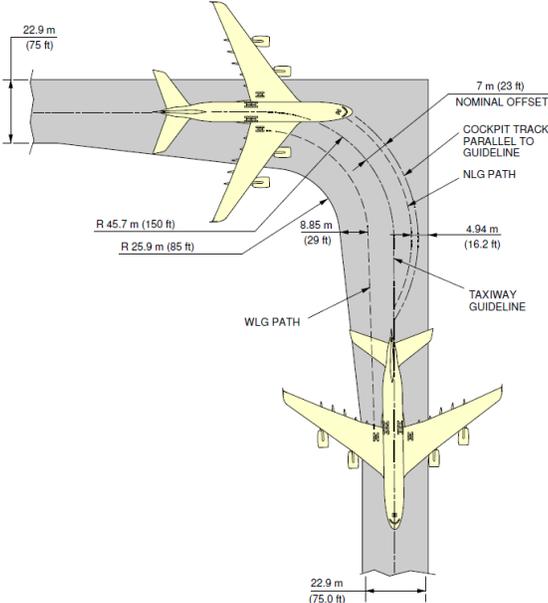


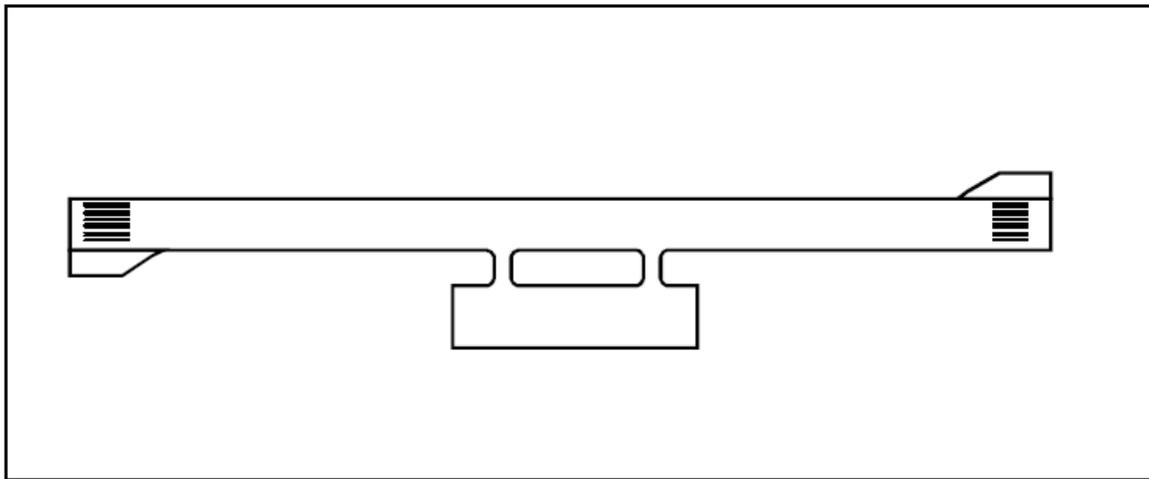
Figura 34 "Giro de 90°, calle de rodaje-calle de rodaje"

## Giro de 180°

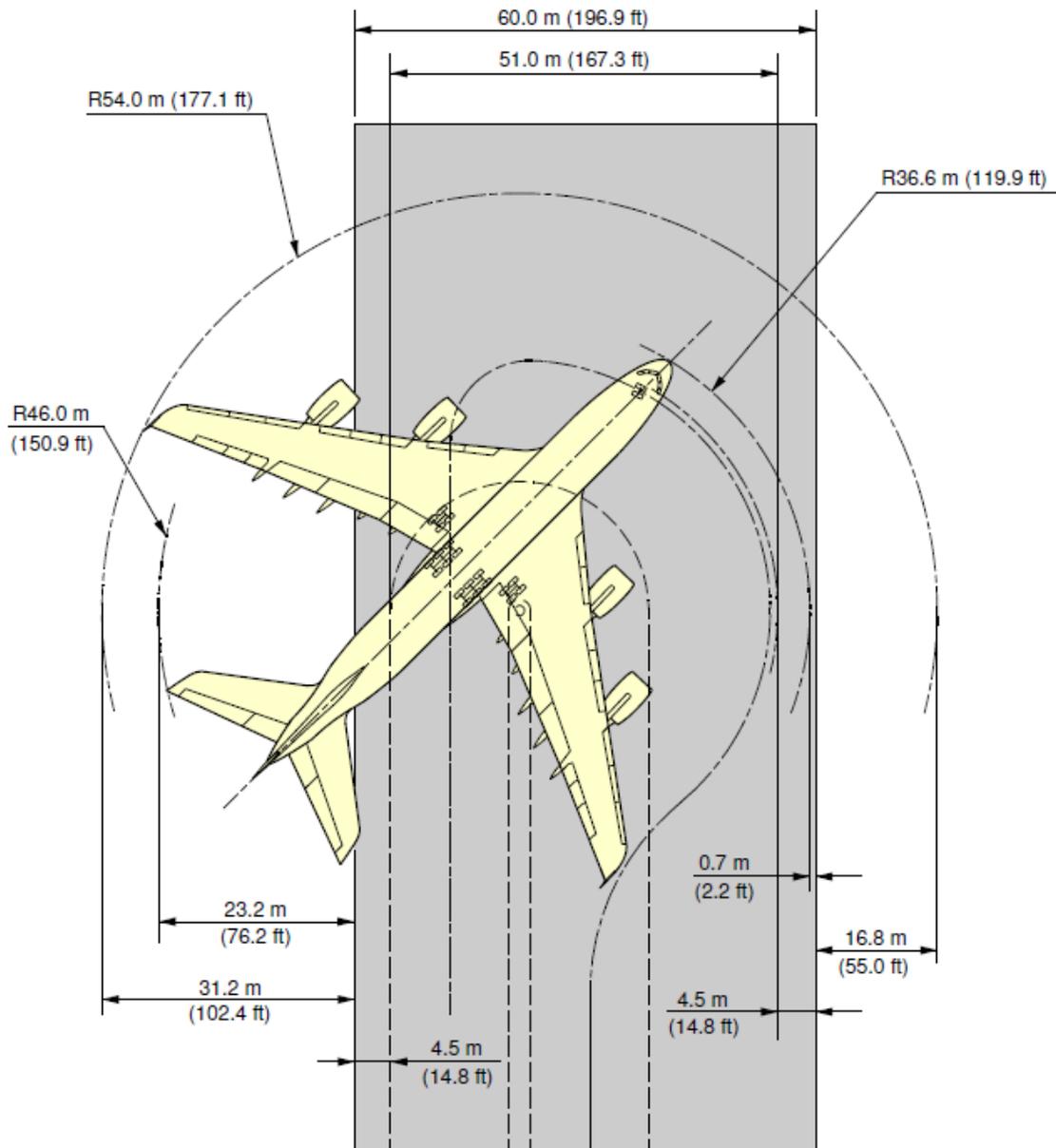
El A380 puede efectuar giros de 180° en pistas que cuenten con una plataforma de viraje (figura 35), la cual es aquella superficie definida en el terreno de un aeródromo adyacente a una pista con la finalidad de completar un viraje de 180° sobre una pista. También es posible realizar el giro en pistas de 60 m de ancho (figura 36),

El anexo 14 de la OACI, parte 3.3 “Plataforma de Viraje en la Pista” establece que “*cuando el extremo de una pista no dispone de una calle de rodaje o de una curva de viraje en la calle de rodaje y la letra de clave es D, E o F, se proporcionará una plataforma de viraje en la pista para facilitar el viraje de 180° de los aviones*”

En la misma sección de su anexo 14, la OACI recomienda que el ángulo de guía del tren de nariz que se utilizará en el diseño de la plataforma de viraje en la pista no deberá ser mayor a 45 m. Por otra parte, como se puede observar en la figura 45, el A380 requiere de un radio de giro de nariz de 36.6 m que corresponde a un ángulo de guía del tren de nariz de 70° (tabla 35) y un empuje asimétrico de los motores con frenos activados. Por tal motivo, en las modificaciones recomendadas se tomó como parámetro crítico un ángulo de giro de tren de nariz de 70° para que dichas modificaciones sean las mínimas posibles.



*Figura 35 "Configuración de una plataforma de viraje típica"*



*Figura 36 "Giro de 180° en pista de 60 m de ancho, con ángulo de giro del tren de nariz de 70°, con empuje asimétrico de los motores y frenos aplicados"*

#### 4.9.2.1 Análisis y comparación de las curvas de enlace de las calles de rodaje del AICM

Basándonos en las especificaciones del fabricante en su manual “Airplane Characteristics for Airport Planning” y en el documento 9157 de OACI “Manual de Diseño de Aeródromos” parte 2 “Calles de Rodaje, Plataformas y Apartaderos de Espera” se proponen las siguientes rutas en tierra para que el A380 pueda llegar de los umbrales de las pistas a su posición de embarque y desembarque de pasajeros. A pesar de que en el tema 4.2.2.2 “Distancias requeridas para el aterrizaje” se demostró que el A380 puede aterrizar en las dos pistas (05R/23L y 05L/23R), se propone que sólo se opere en la pista 05R/23L puesto que tiene una mayor longitud, cuenta con el sistema de radio ayuda ILS CAT II (mientras que en la pista 05L/23R sólo se pueden efectuar aproximaciones visuales), y permite que el avión desaloje la zona de pistas en menor tiempo.

##### **Aterrizaje por pista 05R**

En el tema “4.2.2.3 Cálculo de las calles de salida rápida” se planteó el desalojo de la pista 05R por las calles de salida rápida G, H y B. Para el análisis agregamos D1 y D, que son las calles que se conectan con el umbral de la pista 23L. Por lo tanto las rutas posibles son las siguientes:

- PISTA 05R→G→D→E→PH→POS 55A
- PISTA 05R→G→D→E→A4→L→POS 57A
- PISTA 05R→H→D→E→PH→POS 55A
- PISTA 05R→H→D→E→A4→L→POS 57A
- PISTA 05R→B→D→E→PH→POS 55A
- PISTA 05R→B→D→E→A4→L→POS 57A
- PISTA 05R→D1→D→E→PH→POS 55A
- PISTA 05R→D1→D→E→A4→L→POS 57A
- PISTA 05R→D→E→PH→POS 55A
- PISTA 05R→D→E→A4→L→POS 57A

##### **Aterrizaje por pista 23L**

En el tema “4.2.2.3 Cálculo de las calles de salida rápida” se planteó el desalojo de la pista 23L por las calles de salida rápida A5 y A4. Para el análisis agregamos B3 y A1, que son las calles que se conectan con el umbral de la pista 05R.

- PISTA 23L→A5→PH→POS 55A
- PISTA 23L→A5→E→A4→L→POS 57A
- PISTA 23L→A4→E→PH→POS 55A
- PISTA 23L→A4→L→POS 57A
- PISTA 23L→B3→E→PH→POS 55A
- PISTA 23L→B3→L→POS 57A
- PISTA 23L→A1→E→PH→POS 55A
- PISTA 23L→A1→B3→L→POS 57A

### **Despegue por pista 05R**

Las posibles rutas son las siguientes:

- POS 55A→PH→L→B3→A1→PISTA05R
- POS 57A→L→B3→A1→PISTA 05R
- POS 55A→PH→L→B3→PISTA05R
- POS 57A→L→B3→PISTA 05R

### **Despegue por pista 23L**

Las posibles rutas son las siguientes:

- POS 55A→PH→E→D→D→PISTA 23L
- POS 57A→L→PH→E→D→D→PISTA 23L
- POS 55A→PH→E→D→D1→PISTA 23L
- POS 57A→L→PH→E→D→D1→PISTA 23L

Para determinar los radios de las curvas de enlace se utilizaron imágenes de “Google Earth”, se escalaron y se hicieron las mediciones. Se analizaron y se determinaron las dimensiones de las curvas de enlace de los rodajes anteriormente citados; en las siguientes tablas (50, 51, 52 y 53) se registraron dichas dimensiones y se compararon con los requerimientos del A380 para verificar si cumplen con éstos cuando el avión efectúe aterrizajes en la pista 05R o en la pista 23L y cuando realice despegues por las mismas pistas.

De la figura 37 a la 42 se muestran las dimensiones con las que cuentan actualmente las curvas que unen a las calles de rodaje que se proponen para las rutas en tierra del A380, así como la separación angular entre éstas. Este dato es importante debido a que entre más estrecho sea el ángulo que se genera de un cambio de dirección entre una calle de rodaje y otra, más grande deberá ser el radio de la curva que une a dichas calles.

### Aterrizaje por la pista 05R

*Tabla 50 "Dimensiones y separación angular de las curvas que conectan las calles de rodaje de la trayectoria de rodaje del A380 si realiza un aterrizaje por la pista 05R"*

Enlace	Radio (m)	Grados de separación	¿Cumple?
<b>PISTA 05R/23L-D</b>	54.5	88°	SI
<b>PISTA 05R/23L-D1</b>	46	90°	SI
<b>PISTA 05R/23L-B</b>	51	127°	SI
<b>PISTA 05R/23L-G</b>	536	150°	SI
<b>PISTA 05R/23L-H</b>	49.5	55°	SI
<b>D-D</b>	46	92°	SI
<b>D1-D</b>	51	91°	SI
<b>D-E</b>	104	148°	SI
<b>H-D</b>	142	124°	SI
<b>B-D</b>	39	53°	NO
<b>G-D</b>	43	30°	NO
<b>E-PH</b>	30	90°	NO
<b>E-A4</b>	30	90°	NO
<b>PH-55A</b>	30	126°	NO
<b>A4-L</b>	30	90°	NO
<b>L-POS 57A</b>	50	115°	SI
<b>PISTA-GIRO180°</b>	-	-	NO*
<b>PISTA 23L-E</b>	582	149°	SI
<b>PISTA 23L-H</b>	48	124°	SI

El cálculo de un giro de 180° no tiene las mismas consideraciones que el de las curvas de enlace (como se explicó en el tema anterior). El fabricante establece que el A380 sólo puede hacer giros de 180° en pistas de 60 m de ancho, sin embargo el AICM cuenta con una plataforma de viraje en los umbrales de las pistas 23 donde las curvas ya establecidas no cumplen con los parámetros requeridos por el avión. En la figura 43 se plantea un cambio en las dimensiones de las señales de la plataforma de viraje para que el A380 pueda usar la plataforma con la que cuenta la pista 05R/23L.

### Aterrizaje por la pista 23L

Tabla 51 "Dimensiones y separación angular de las curvas que conectan las calles de rodaje de la trayectoria de rodaje del A380 si realiza un aterrizaje por la pista 23L"

Enlace	Radio (m)	Grados de separación	¿Cumple?
<b>PISTA 05R/23L-A5</b>	558	149°	SI
<b>PISTA 05R/23L-A4</b>	46	149°	SI
<b>PISTA 05R/23L -B3</b>	104	93°	SI
<b>PISTA 05R/23L-A1</b>	27.5	55°	NO
<b>A5-PH</b>	50.5	120°	SI
<b>A5-E</b>	168	150°	SI
<b>A4-L</b>	28.5	90°	NO
<b>A4-E</b>	39	90°	NO
<b>B3-L</b>	30	89°	NO
<b>B3-E</b>	31	88°	NO
<b>A1-B3</b>	115	143°	SI
<b>A1-E</b>	95.5	125°	SI
<b>PH-POS 55A</b>	30	126°	NO
<b>E-A4</b>	30	90°	NO
<b>A4-L</b>	30	90°	NO
<b>L-POS 57A</b>	50	115°	SI

### Despegue por la pista 05R

52 "Dimensiones y separación angular de las curvas que conectan las calles de rodaje de la trayectoria de rodaje del A380 si realiza un despegue por la pista 05R"

Enlace	Radio (m)	Grados de separación	¿Cumple?
<b>POS 57A-L</b>	33	65°	SI*
<b>POS 55A-PH</b>	45	54°	SI
<b>L-B3</b>	30	89°	NO
<b>B3-A1</b>	115	143°	SI
<b>A1-PISTA 05R/23L</b>	27.5	55°	NO
<b>B3-PISTA 05R/23L</b>	104	93°	SI
<b>PH-L</b>	31	90°	NO

## Despegue por la pista 23L

Tabla 53 "Dimensiones y separación angular de las curvas que conectan las calles de rodaje de la trayectoria de rodaje del A380 si realiza un despegue por la pista 23L"

Enlace	Radio (m)	Grados de separación	¿Cumple?
<b>POS 55A-PH</b>	45	54°	SI
<b>POS57A-L</b>	50	115°	SI
<b>L-PH</b>	28.5	90°	NO
<b>PH-E</b>	28.5	90°	NO
<b>E-D</b>	104	148°	SI
<b>D-D1</b>	51	91°	SI
<b>D-D</b>	46	92°	SI
<b>D1-PISTA 05R/23L</b>	46	90°	SI
<b>D-PISTA 05R/23L</b>	54.5	88°	SI

Las figuras 37, 38, 39, 40, 41 y 42 muestran las dimensiones de las curvas que unen a las calles de rodaje. La información obtenida de estas imágenes es la que está presente en las tablas anteriores (50, 51, 52 y 53).



Figura 37 "Dimensiones de las curvas que unen a las calles de rodaje desde D hasta H"

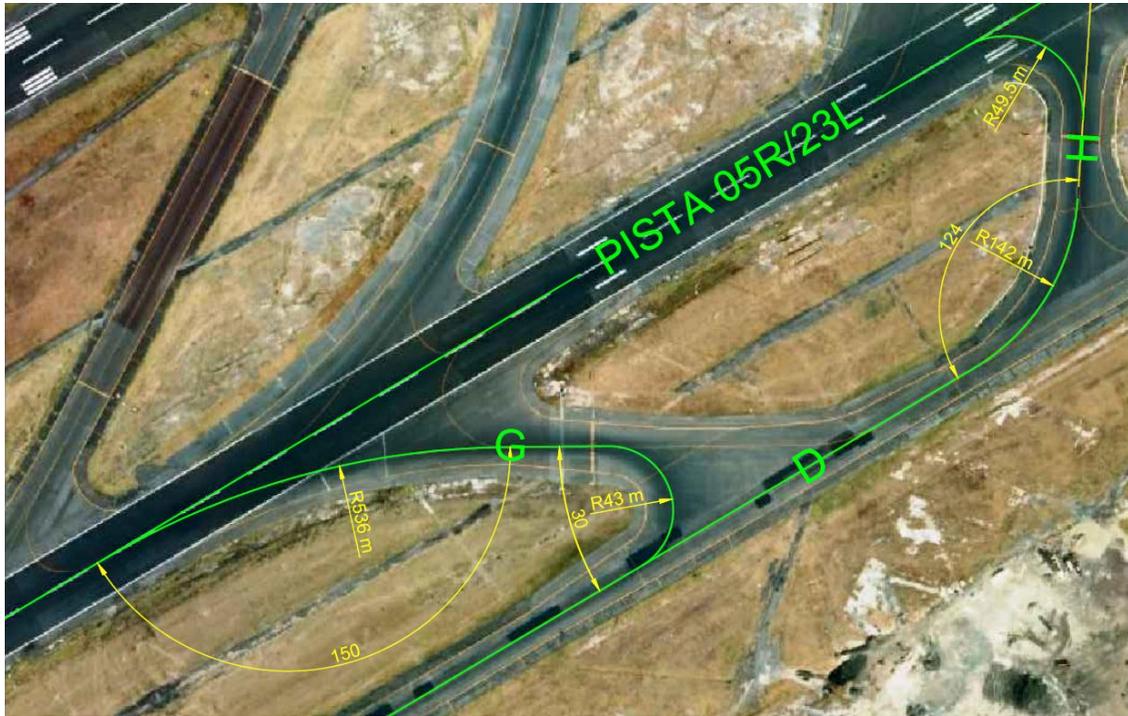


Figura 38 "Dimensiones de las curvas que unen a las calles de rodaje entre H y G"



Figura 39 "Dimensiones de las curvas que unen a las calles de rodaje entre G y E2"



*Figura 40 "Dimensiones de las curvas que unen a las calles de rodaje entre E2 y A5"*



*Figura 41 "Dimensiones de las curvas que unen a las calles de rodaje entre A5, E y A4"*



En la figura 43 se muestran las modificaciones que se plantean a la señal de eje de la plataforma de viraje que se encuentra en el umbral 23L. Las líneas amarillas son las curvas que actualmente están marcadas en el AICM; las líneas verdes son las modificaciones que se sugieren para que el A380 pueda generar un viraje de 180° y las líneas rojas son los márgenes externos de la plataforma.

En las tablas 50-53 y las figuras 37-42 se puede observar que hay radios en las curvas de enlace que no cumplen con los requerimientos del avión. En el mejor de los casos se puede restringir el acceso a algunos de éstos para las operaciones en tierra del A380, sin embargo, los rodajes PH, L, B3, A4 y E son indispensables para el arribo de la aeronave a su posición de contacto, por lo tanto se plantearon algunas modificaciones a las dimensiones de las curvas de enlace entre las calles de rodaje citadas.

En la figura 44 se observa que las modificaciones a las curvas de enlace entre el rodaje A1 y la pista 05R/23L son mínimas, puesto que sólo se deben reorientar la señal de eje de calle de rodaje y los márgenes de seguridad de las curvas.

En la figura 45 se ilustran las modificaciones a los radios de las curvas de enlace entre los rodajes PH, L, B3, A4 y E, así como las curvas que permiten el acceso de las aeronaves a las posiciones 55A y 57A. Estas modificaciones cumplen con los requerimientos anteriormente citados (Figura 34). Las líneas verdes son las señales de los ejes de las calles de rodaje y las conexiones entre éstas que se recomiendan modificar. Las líneas rojas son los márgenes de seguridad que cumplen con las distancias mínimas de separación entre el borde exterior de las ruedas del tren principal con el límite de la calle de rodaje. Las líneas amarillas son las señales de los ejes de calle de rodaje actualmente establecidos en el AICM.



*Figura 44 "Modificación de la curva de enlace de A1-Pista 05R/23L"*

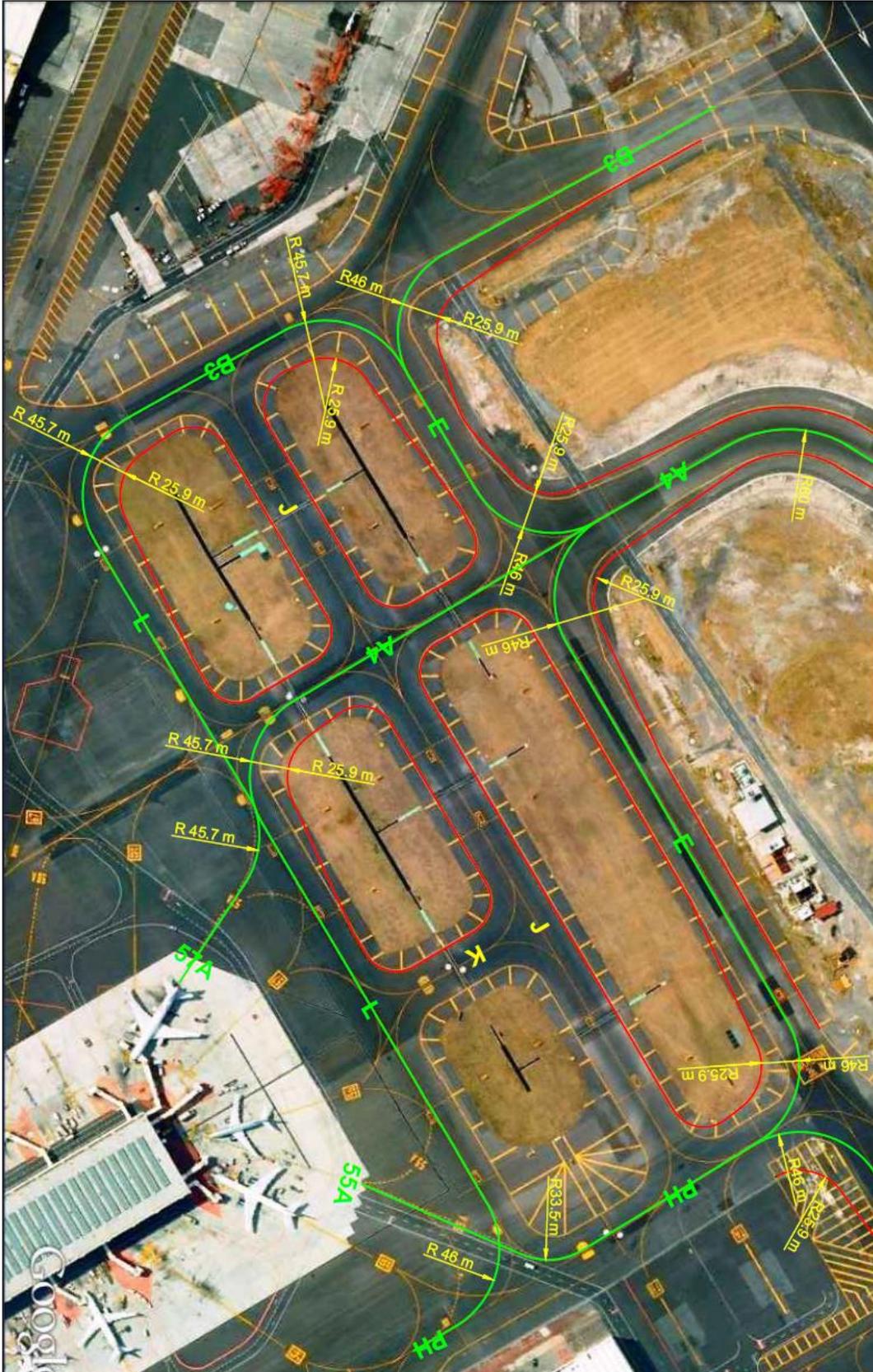


Figura 45 "Modificación de las calles de rodaje para el arribo del A380 a la T2"

#### 4.9.2.2 Análisis y comparación de las curvas de enlace de las calles de rodaje del AIG

##### Aterrizaje por pista 28

En las figuras 46 y 47 se muestra en color verde la ruta recomendada para el A380 aterrizando por la pista 28.



Figura 46 "Corrección de la curvatura de la señal de eje de rodaje de la pista 10/28 y el rodaje A"

Si el avión llegara a detenerse antes del rodaje "J", podría interceptarlo para incorporarse después al rodaje "Alfa" como se muestra en la figura 47.

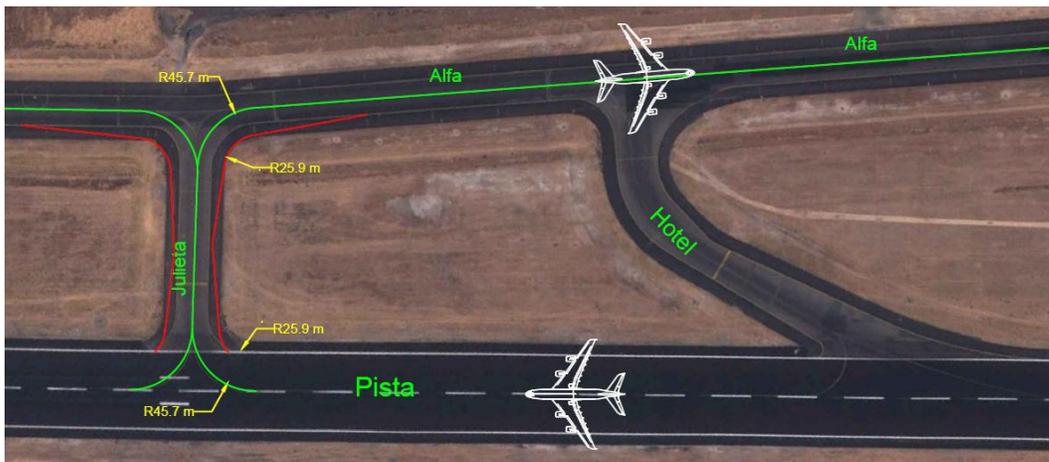


Figura 47 "Corrección de la curvatura de la señal de eje de rodaje de la pista 10/28 y el rodaje J"

Como se puede observar, el rodaje "H" no fue analizado debido a que el avión requeriría mayor longitud de pista antes de poder tomar una calle de rodaje si su peso de aterrizaje es mayor a 365,000 kg, además de que el PCN es menor al ACN.

Los rodajes F, D y C no cumplen los requerimientos de distancia entre objetos al ingresar a la plataforma por estar muy cerca de las demás posiciones de contacto, lo que impide el libre paso del A380 si hay alguna otra aeronave estacionada como se muestra en la figura 48.



Figura 48 "Rodajes F, D y C"

La posición que podría albergar al A380 es la 14-A, la cual se encuentra localizada en el área de carga. Para acceder a esta posición se toma el rodaje "A2" desde el rodaje "A". Cabe mencionar que el rodaje "B" no es apropiado ya que el A380 no podría transitar sobre la plataforma si hay otra aeronave estacionada como se muestra en la figura 49.



Figura 49 "Rodaje A→A2→Posición 14-A"

## Aterrizaje por pista 10

Si el A380 aterriza por pista 10 deberá continuar hasta el final de la pista y salir por el rodaje "A" como se ilustra en la figura 50.

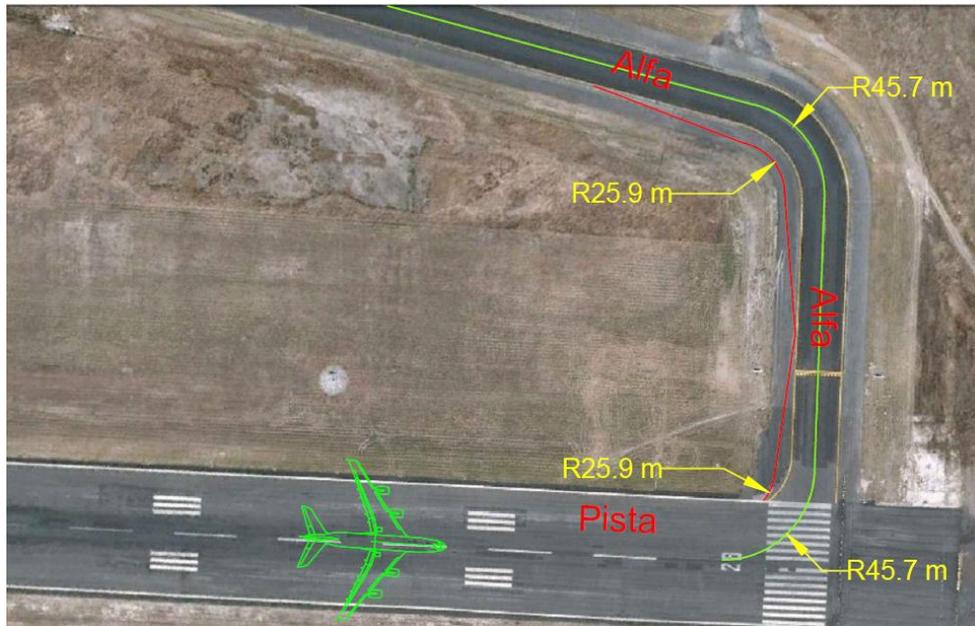


Figura 50 "Pista 10→Rodaje A"

Continuará así por "A" hasta "A2" donde entrará a la posición 14-A. En la figura 51 se puede observar la trayectoria que seguirá.

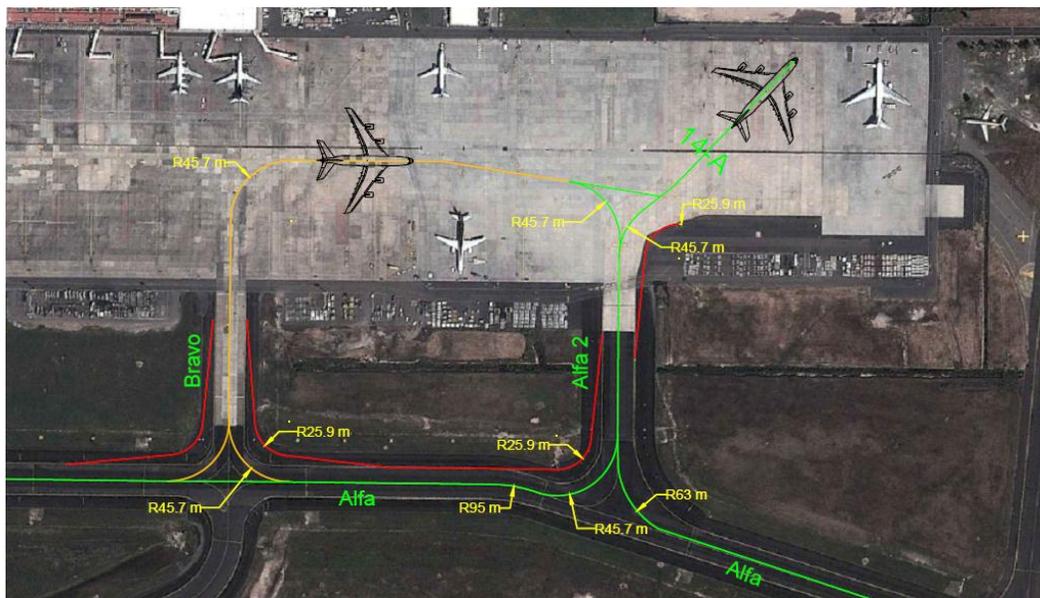


Figura 51 "Rodaje A→A-2→Posición 14-A"

#### 4.9.2.3 Análisis y comparación de las curvas de enlace de las calles de rodaje del AIC

Para fines de este estudio sólo se analizará la pista 12R/30L, ya que por las dimensiones del A380 y su peso de operación, es la más adecuada para su uso.

##### **Aterrizaje por pista 12R**

Aterrizando por la pista 12R se plantea que el avión desaloje por el rodaje “A” en el umbral 30L y continúe hasta interceptar con “C1”, donde entrará a plataforma de la Terminal 2 y posteriormente a la posición 25. Esta posición podría ser ocupada por el A380 únicamente como un procedimiento ocasional a pesar de que no se cumple con la distancia requerida. Por esta razón no se propone alguna modificación a los rodajes, sino sólo la recomendación de un procedimiento especial. La ruta que seguiría el avión es:

- PISTA 12R→A→C1→POS 25

##### **Aterrizaje por pista 30L**

Aterrizando por la pista 30L se plantea que el A380 desaloje por el rodaje “A” en el umbral 12R y continúe hasta interceptar con “D1”, donde entrará a plataforma de la Terminal 2 y posteriormente a la posición 25.

- PISTA 30L→A→D1→POS 25

##### **Despegue por pista 12R**

La ruta sugerida es:

- POS 25→D1→A→PISTA 12R

##### **Despegue por pista 30L**

La ruta sugerida es:

- POS 25→D1→C1→A→PISTA 30L

Las rutas anteriores se plantearon de esta manera debido a que el AIC posee una condición de aeropuerto alternativo, por lo tanto no es viable una inversión, además de que para plantear una ruta más directa a los umbrales de la pista 12R/30L se necesitaría cambiar el pavimento de algunos de los rodajes que la interceptan.

### 4.9.3 Superficies de enlace

Según el anexo 14 de la OACI, con el fin de facilitar el movimiento de los aviones deberán proveerse superficies de enlace en las uniones e intersecciones de las calles de rodaje con pistas, plataformas y otras calles de rodaje. El diseño de las superficies de enlace deberá asegurar que se conservan las distancias mínimas libre entre ruedas y borde de 4.5 m para aeródromos con categoría D, E y F cuando los aviones maniobran en las uniones o intersecciones. Quizá sea necesario proporcionar pavimento suplementario en las curvas de las calles de rodaje y en las uniones e intersecciones de las calles de rodaje para satisfacer estos requisitos cuando una aeronave esté efectuando un viraje.

El Manual de Diseño de Aeródromos (Doc. 9157), parte 2, Apéndice 1 “Diseño de las Superficies de Enlace” establece tres métodos para el diseño de éstas: método gráfico, método de arco tangente y método gráfico de lectura rápida. Para fines de este trabajo se optó por desarrollar el método de arco tangente para calcular las superficies de enlace requeridas para la operación en tierra del A380. Antes de describir y plasmar el desarrollo de las superficies de enlace que necesita el A380 es necesario que se entiendan los siguientes conceptos para fines del cálculo.

#### **Expresiones relativas a la aeronave (ver figura 52)**

*Ancho de vía del tren de aterrizaje principal (T).* Distancia entre las ruedas exteriores principales de la aeronave, incluyendo la anchura de las ruedas.

*Ángulo de guía ( $\beta$ ).* Ángulo formado por la tangente a la línea de guía y el eje longitudinal de la aeronave.

*Ángulo de guía de la rueda de proa.* Ángulo formado por el eje longitudinal de la aeronave y la dirección de la rueda de proa.

*Centro del tren de aterrizaje principal (U).* Punto de intersección del eje longitudinal de la aeronave y el eje que pasa por el tren de aterrizaje principal.

*Centro de viraje (P).* Centro de viraje de una aeronave en cualquier momento.

*Eje que pasa por el tren de aterrizaje principal.* Línea perpendicular desde el centro de viraje al eje longitudinal de la aeronave

*Longitud de referencia (d).* Distancia entre el punto de referencia de la aeronave y el eje que pasa por tren de aterrizaje.

*Punto de referencia de la aeronave (S).* Punto del eje longitudinal de la aeronave que sigue la línea de guía en tierra. El punto de referencia está situado verticalmente debajo del puesto de pilotaje de la aeronave.

**Expresiones relativas al diseño de las calles de rodaje y las superficies de enlace  
(ver figura 53)**

*Centro de línea de guía (O).* Centro de la curvatura de línea de guía en el punto S.

*Desviación del tren de aterrizaje principal ( $\lambda$ ).* Distancia entre el centro del tren de aterrizaje principal (U) y la línea de guía medida en sentido perpendicular a la última.

*Línea de guía.* Línea indicada sobre el pavimento por medio de señales o luces que en el punto de referencia de la aeronave debe seguir sobre el rodaje.

**Glosario de símbolos**

$d$  = Longitud de referencia de la aeronave.

$M$  = Distancia libre mínima entre las ruedas exteriores del tren de aterrizaje principal y el borde del pavimento.

$O$  = Centro de curvatura de la línea de guía en el punto S.

$P$  = Centro del viraje

$r$  = Radio del arco de la superficie de enlace

$R$  = Radio de la curvatura de la línea de guía en el punto S.

$S$  = Punto de referencia de la aeronave

$T$  = Ancho de vía del tren de aterrizaje principal.

$U$  = Centro del tren de aterrizaje principal.

$\alpha$  = Ángulo entre la línea OU y la tangente a la trayectoria del centro del tren de aterrizaje principal en U.

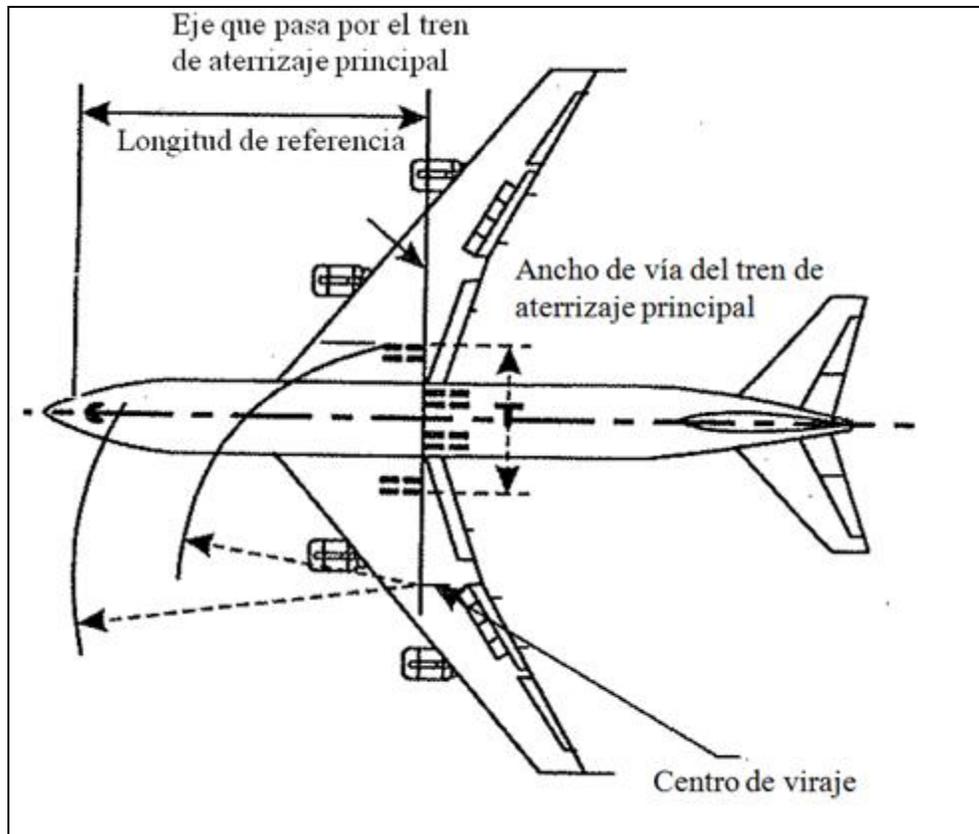


Figura 52 "Expresiones y símbolos relativos a aeronaves (Aeronave con tren de aterrizaje principal de cuatro patas)"

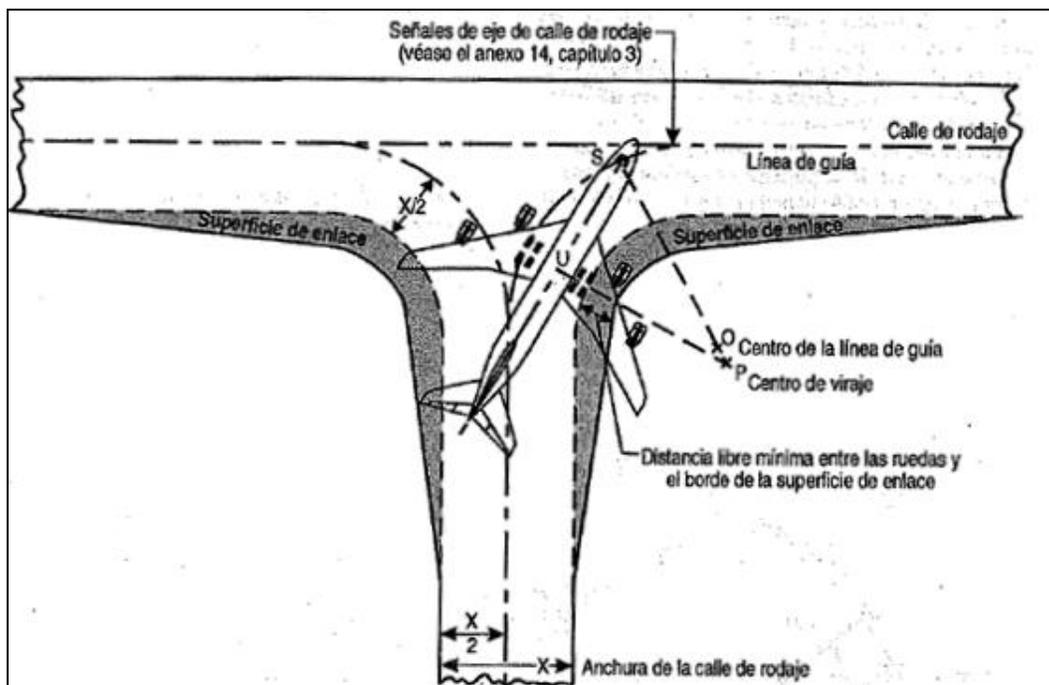


Figura 53 "Expresiones y símbolos relativos al diseño de las calles de rodaje y superficies de enlace"

## Cálculo de las superficies de enlace empleando el método de arco tangente

La trayectoria del centro del tren de aterrizaje principal de una aeronave durante un viraje es una curva compleja, pero se aproxima a un arco de círculo y sus tangentes. El diseño de una superficie de enlace que se ajuste estrechamente a la trayectoria del tren de aterrizaje principal y tenga en cuenta el margen de seguridad requerido, puede obtenerse empleando:

- a) Un arco concéntrico con el eje de la calle de rodaje, con el fin de proporcionar la anchura adicional necesaria de pavimento en la parte del viraje; y
- b) Una tangente en cada extremo del arco, formando un extremo cuneiforme en la superficie de enlace, a fin de tener en cuenta la desviación residual del tren de aterrizaje principal.

Para trazar la superficie de enlace es suficiente conocer el radio ( $r$ ) del arco y la longitud ( $l$ ) de los extremos cuneiformes de la superficie de enlace.

A continuación se desarrollan los cálculos para rodajes con cambio de dirección de  $90^\circ$ , que en el AICM y AIG son los más críticos y que en su mayoría no cumplen con los requerimientos del A380.

Datos:

Cambio de dirección de la calle de rodaje de  $90^\circ$

Radio del eje de la calle de rodaje (R).....	45.7 m
Anchura de la calle de rodaje (X).....	23 m
Longitud de referencia de la aeronave (d).....	31.9 m
Ancho de vía del tren de aterrizaje del A380 (T).....	14.33 m
Margen de seguridad (M).....	4.5 m
Relación R/d.....	$45.7/31.9=1.43$
Desviación máxima: 33% de d.....	$\lambda_{max}=10.52$
Radio del arco de la superficie de enlace $r = R - (\lambda_{max} + \frac{T}{2} + M)$ ..	$5.7-(10.52+7.16+4.5)=23.51$ m
Desviación máxima sin superficie de enlace $= \frac{X}{2} - (M + \frac{T}{2})$ .....	$11.5-(4.5+7.16)= 0.165$ m

Según la gráfica de la figura 54, este valor corresponde a un ángulo de guía de  $0.32^\circ$

De la figura 55 se obtiene el ángulo de guía al final del viraje ( $90^\circ$ ,  $R/d=1.43$ )  $=37.51^\circ$

Los ángulos de guía calculados se convierten en recorridos a lo largo del eje recto como se indica en la figura 56. El valor de  $0.32^\circ$  está por debajo de la curva del gráfico y por lo tanto debe emplearse la tabla. En la intersección de la columna  $0^\circ$  y el incremento  $0.3^\circ$  se obtiene la cifra de 5.44. La distancia recorrida es de  $5.44 \times d = L_1 = 5.44 \times 31.9 = 173.53$  m.

Por medio del mismo gráfico se obtiene el valor de  $L_2$  correspondiente a  $37.5^\circ = 16.8$  m.

La diferencia en  $L_1$  y  $L_2$  es  $L_3$ , la cual indica el recorrido del punto de referencia para pasar  $37.5^\circ$  a  $0.3^\circ$ .  $L_3 = 173.53 - 16.8 = 156.73$  m.

La distancia a la que se encuentra el centro del tren de aterrizaje respecto al final de la curva se obtiene restando de  $L_3$  la longitud de referencia,  $l = 156.73 - 31.9 = 124.8$  m.

### Trazado

- 1) Se trazó un arco de 23.51 m de radio con centro en O (centro de la curva de la calle de rodaje).
- 2) Se marcaron puntos a una distancia de 124.8 m del final de la curva sobre el borde interno de la calle de rodaje.
- 3) A partir de esos puntos se trazaron líneas tangentes al arco de 23.51 m de radio (Figura 57)

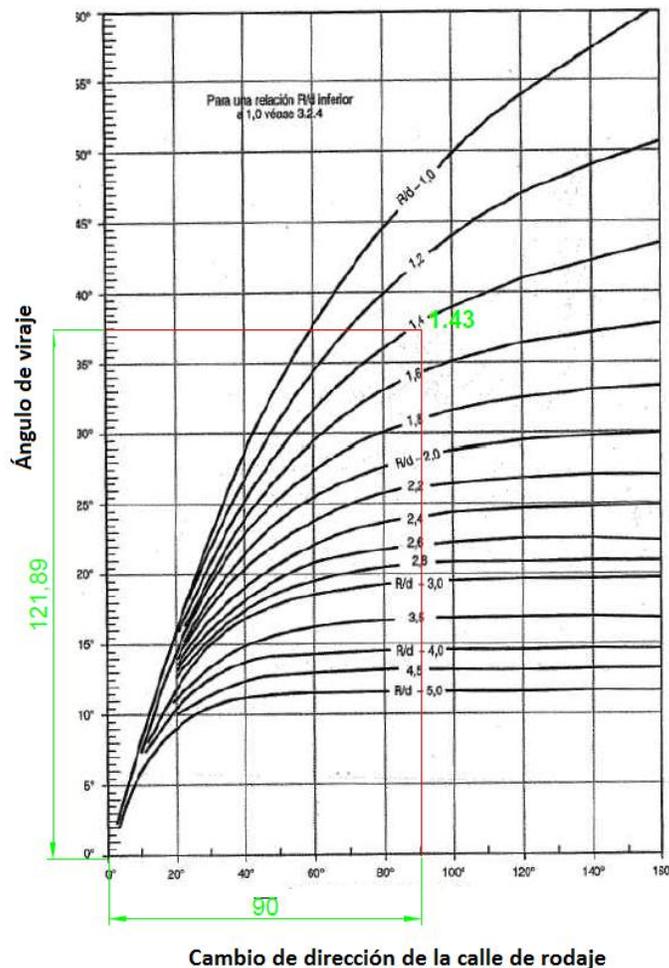


Figura 54 "Ángulo de guía ( $\beta$ ) y desviación ( $\lambda$ ) del centro del tren de aterrizaje principal"

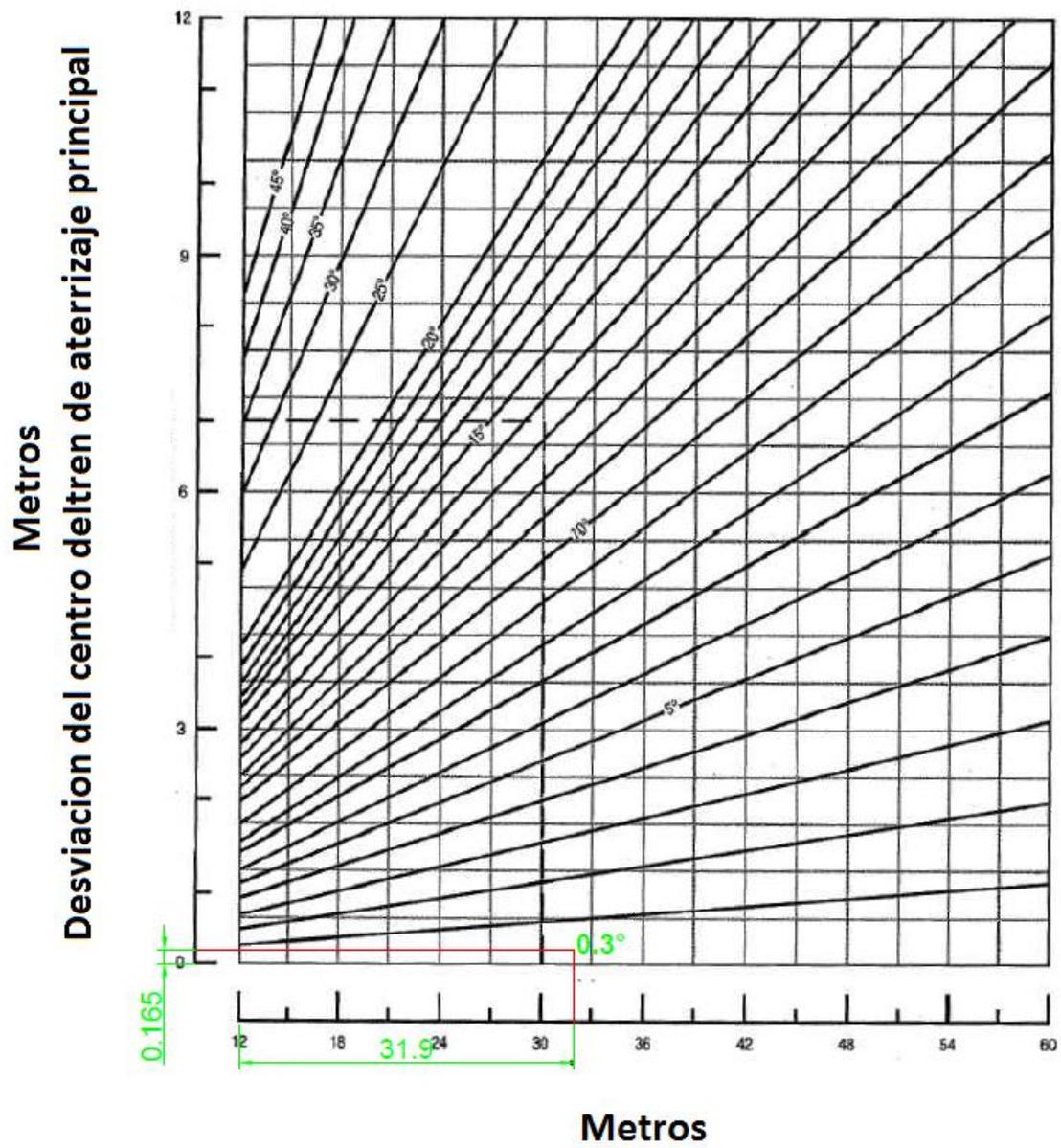


Figura 55 "Aumento del ángulo de guía durante un viraje"

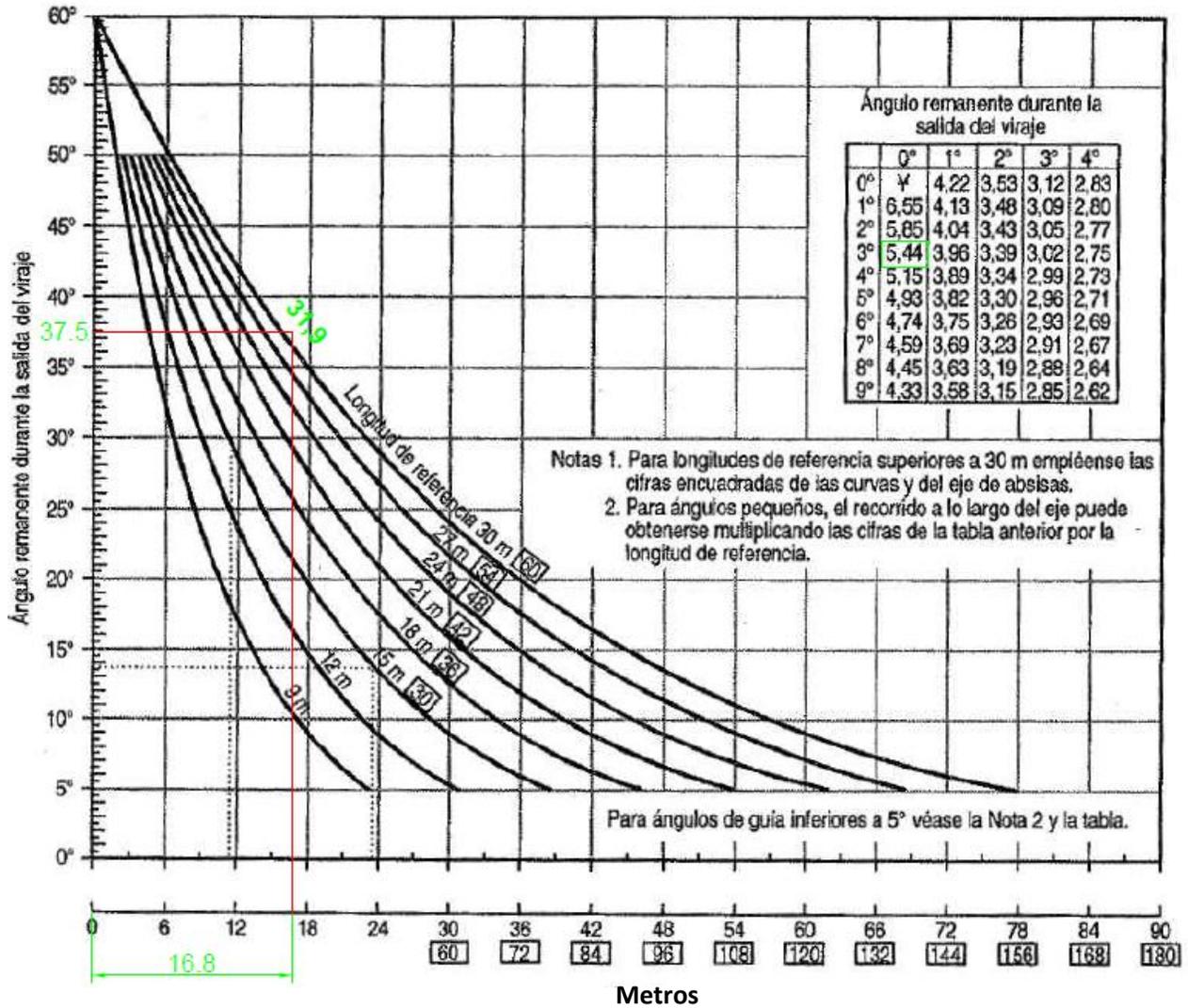
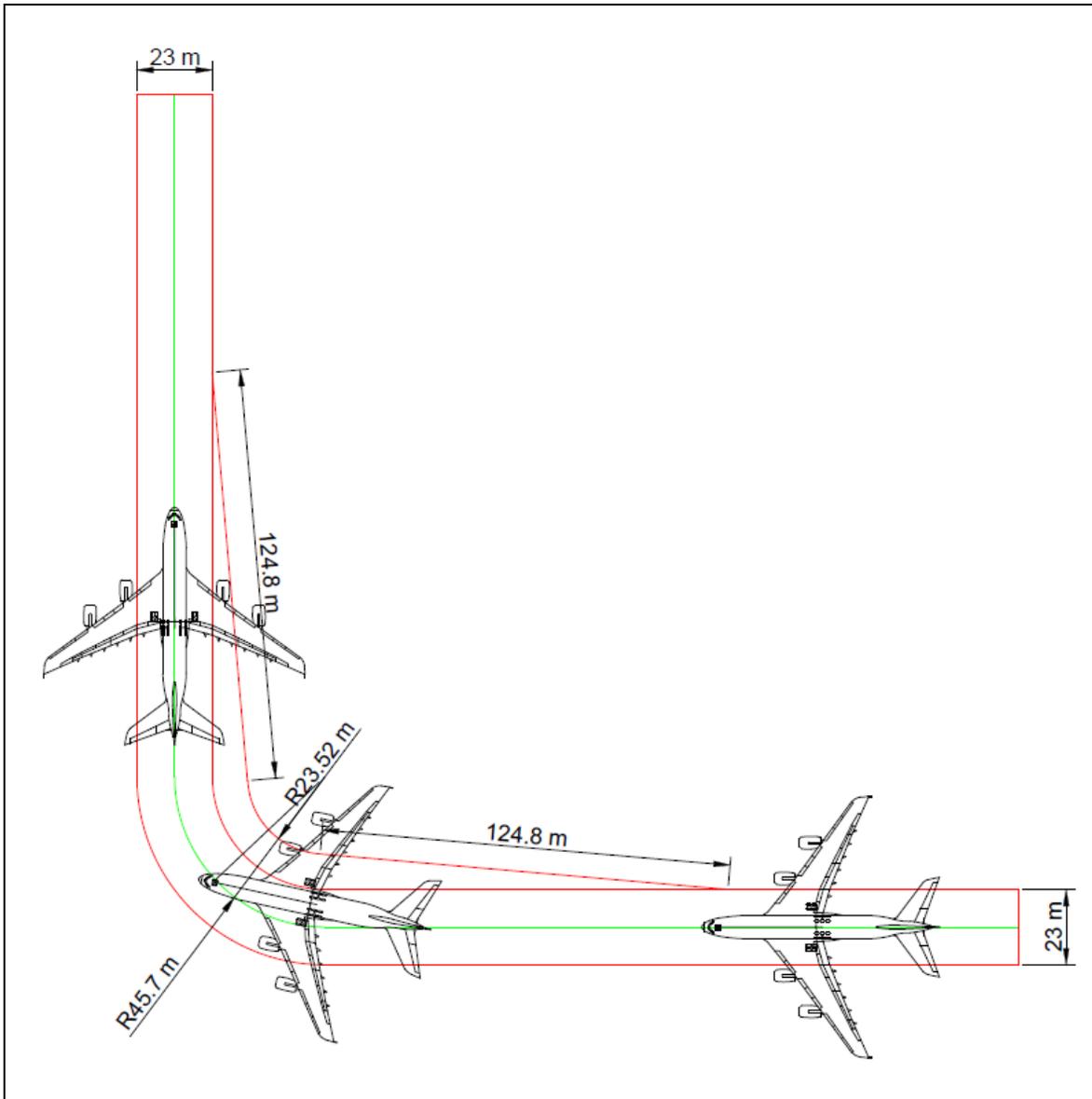


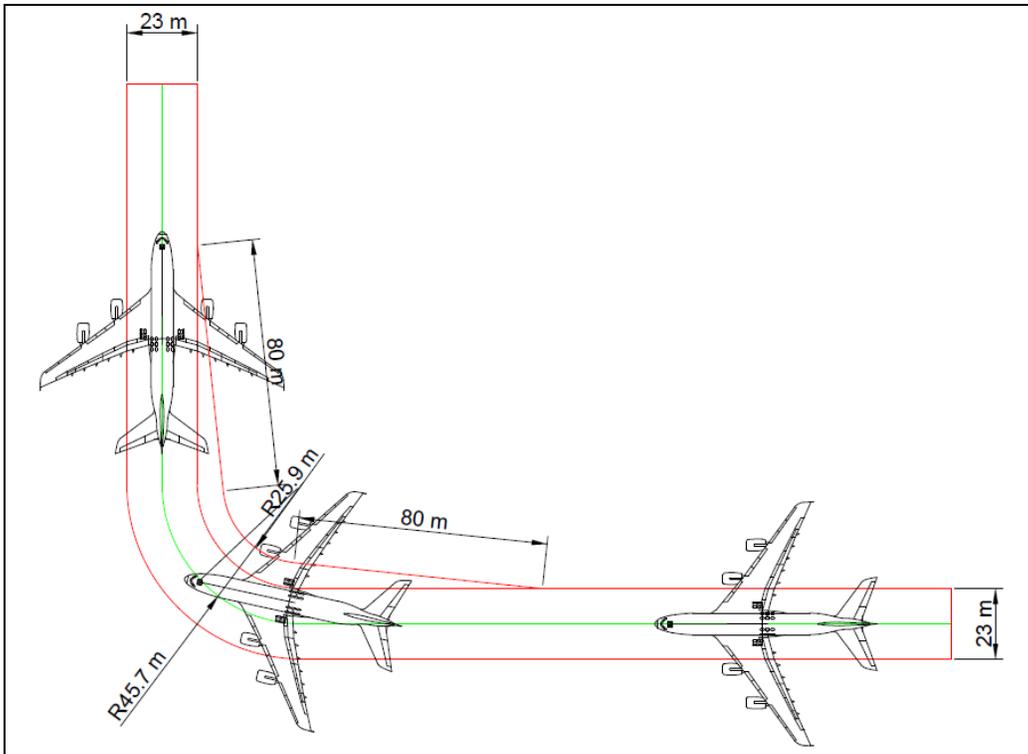
Figura 56 "Disminución del ángulo de guía al final del viraje"



*Figura 57 "Diseño de una superficie de enlace de una calle de rodaje con cambio de dirección de 90° para la operación del A380"*

En la figura 57 se observa que la prolongación de la superficie de enlace es de una magnitud considerablemente elevada para un aeropuerto como el AICM (el cual tiene una limitación de espacio significativa) es poco factible tener superficies de enlace de tal magnitud.

Por otra parte, en el manual "Airplane Characteristics for Airport Planning", sección 4 "Ground Maneuvering", Airbus establece superficies de enlace de menor magnitud pero que restringen el giro de la rueda del tren de nariz. En la figura 58 se pueden observar las dimensiones de dicha superficie establecida por el fabricante.

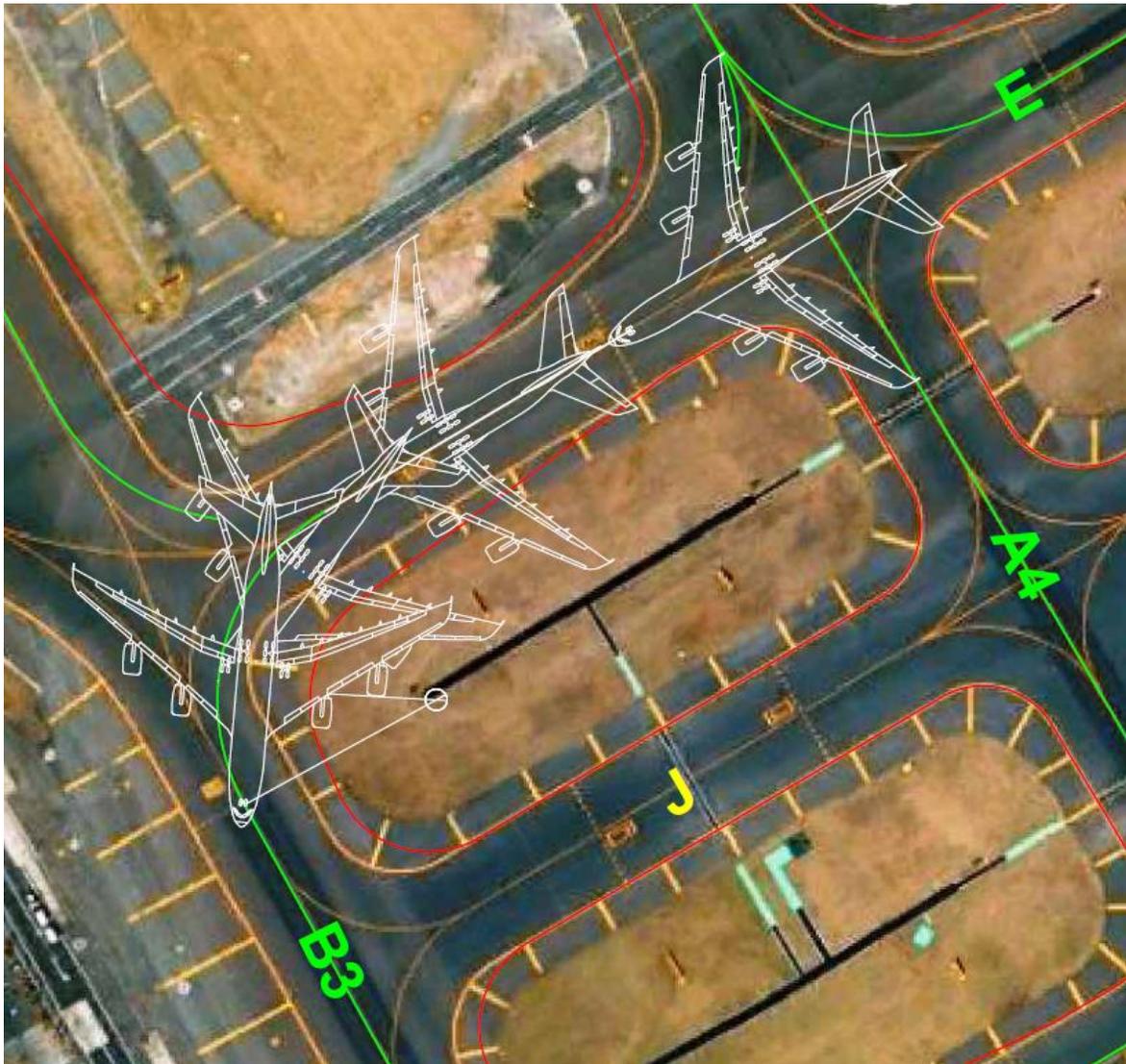


*Figura 58 "Superficies de enlace sugeridas por Airbus para curvas de conexión entre calles de rodaje con cambio de dirección de 90°"*

Las modificaciones a las superficies de enlace propuestas para los aeropuertos de la Ciudad de México, de la Ciudad de Cancún y de la Ciudad de Guadalajara son basadas en las que Airbus propone, ya que éstas ofrecen las mínimas modificaciones posibles para las superficies ya establecidas de cada aeropuerto.

En las figuras 36 y 37, donde se observan las modificaciones propuestas a los radios de giro de las curvas que conectan un rodaje con otro, también se pueden observar las modificaciones a las superficies de enlace de dichos rodajes y éstos cumplen con las especificaciones anteriormente descritas.

En la figura 59 se ilustra cómo se efectuaría un viraje de 90° entre las calles de rodaje “E” y “B3” del AICM. Estas calles de rodaje se plantearon como parte de la ruta de arribo del A380 a la posición de toma de contacto 57A cuando éste efectúe un aterrizaje por la pista 05R y tenga que llegar a esta posición de toma de contacto.



*Figura 59 " Viraje de 90° entre las calles de rodaje E y B3 del AICM"*

#### 4.9.3.1 Superficies de enlace modificadas en el AICM

En el AICM las superficies de enlace que deben ser ensanchadas son las siguientes:

Conexiones entre rodajes a 90°.

- B3-E (inferior y superior)
- A4-E
- PH-E (superior izquierdo y derecho)
- B3-L
- A4-L

Conexiones entre rodajes a 135°.

- A1 - PISTA 05R/23L

En la figura 60 se ilustran las superficies de enlace modificadas B3-E (inferior y superior), A4-E, PH-E (izquierda), B3-L, y A4-L. Las líneas verdes muestran la señal de eje de pista que seguirá el A380, las líneas rojas muestran los márgenes de las calles de rodaje, así como las superficies de enlace, y las zonas achuradas muestran el área que tendrá que aumentarse al rodaje para cumplir con los anchos de rodaje que requiere el A380. Estas condiciones son iguales para las figuras 61 y 62.



*Figura 60 "Superficies de enlace corregidas (B3-E, B3-L, A4-E, A4-L, PH-E Y PH-L)*

La figura 61 muestra las superficies de enlace PH-E derecha e izquierda que debería de haber para que el A380 pueda operar en dichas calles de rodaje.



*Figura 61 "Superficies de enlace PH-E derecha e izquierda"*

La figura 62 ilustra la superficie de enlace A1-PISTA 05R/23L. La zona achurada, como en la figura 60 y 61 muestran el área que se tiene que aumentar para que la superficie de enlace que une el rodaje A1 con la pista 05R/23L cumpla con los parámetros de operación del A380.



*Figura 62 "Superficie de enlace A1-PISTA 05R/23L"*

La tabla 54 muestra la cantidad total en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de pavimento y el tipo de asfalto que se requiere para que dichas superficies de enlace cumplan con los requerimientos que establece la OACI y Airbus para la operación del A380.

*Tabla 54 "Superficie de enlace total requerida para el AICM"*

Superficie de enlace	Tipo y resistencia del pavimento	Superficie requerida (m <sup>2</sup> )
<b>B3-E (superior)</b>	ASPH PCN 73/F/C/X	978
<b>B3-E (inferior)</b>	ASPH PCN 73/F/C/X	947
<b>B3-L</b>	ASPH PCN 120/F/C/X	984
<b>A4-E (superior izquierda)</b>	ASPH PCN 120/F/C/X	315
<b>A4-E (superior derecha)</b>	ASPH PCN 120/F/C/X	568
<b>A4-L</b>	ASPH PCN 120/F/C/X	1 009
<b>PH-E (izquierda)</b>	ASPH PCN 120/F/A/X	1 133
<b>PH-E (derecha)</b>	ASPH PCN 120/F/A/X	891
<b>PH-L</b>	ASPH PCN 120/F/A/X	601
<b>A1-PISTA 05R/23L</b>	ASPH PCN 120/F/D/X	452

Tomando las superficies requeridas de la tabla 54 se calculan las siguientes cantidades totales:

- 1925 m<sup>2</sup> de asfalto con una resistencia de 73/F/C/X
- 2876 m<sup>2</sup> de asfalto con una resistencia de 120/F/C/X
- 2625 m<sup>2</sup> de asfalto con una resistencia de 120/F/A/X
- 452 m<sup>2</sup> de asfalto con una resistencia de 120/F/D/X

De lo anterior concluimos que es necesaria una superficie extra total de 7 878 m<sup>2</sup> de asfalto flexible de alta resistencia para las superficies de enlace que requiere el A380 para poder arribar a las posiciones de toma de contacto 55A y 57A.

Las superficies calculadas no incluyen la cantidad de pavimento requerida para los márgenes de las calles de rodaje. Este tema se abordará más adelante en este mismo capítulo.

#### 4.9.3.2 Superficies de enlace modificadas en el AIG

Para la ruta que se planteó en la sección 4.9.2.2 “Análisis y comparación de las curvas de enlace de las calles de rodaje del AIG” se determinó que las curvas de enlace que conectan las siguientes calles de rodaje no tienen superficies de enlace que cumplan con las que necesita el A380 para efectuar un viraje.

- Rodaje A que une a la pista 10/28 en el umbral 10 con las plataformas (Figura 63).
- Rodaje A que une a la pista 10/28 en el umbral 28 con las plataformas (Figura 64).
- Intersección entre la calle de rodaje A y la calle de rodaje A2 (Figura 65).
- Intersección entre el rodaje A2 y la plataforma de carga (Figura 65).

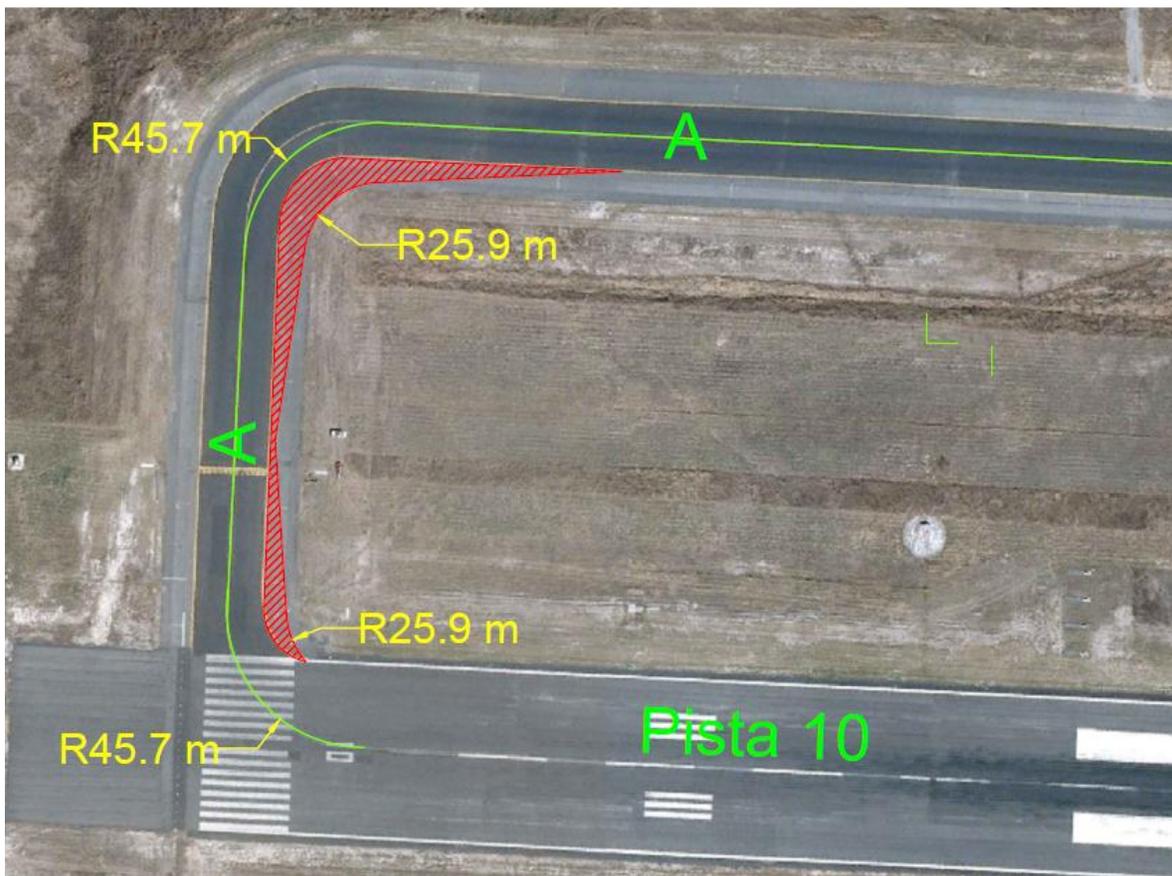


Figura 63 "Superficies de enlace de la intersección entre la pista 10/28 y la calle de rodaje A en el umbral 10"



Figura 64 "Superficies de enlace de la intersección entre la pista 10/28 y la calle de rodaje A en el umbral 28"

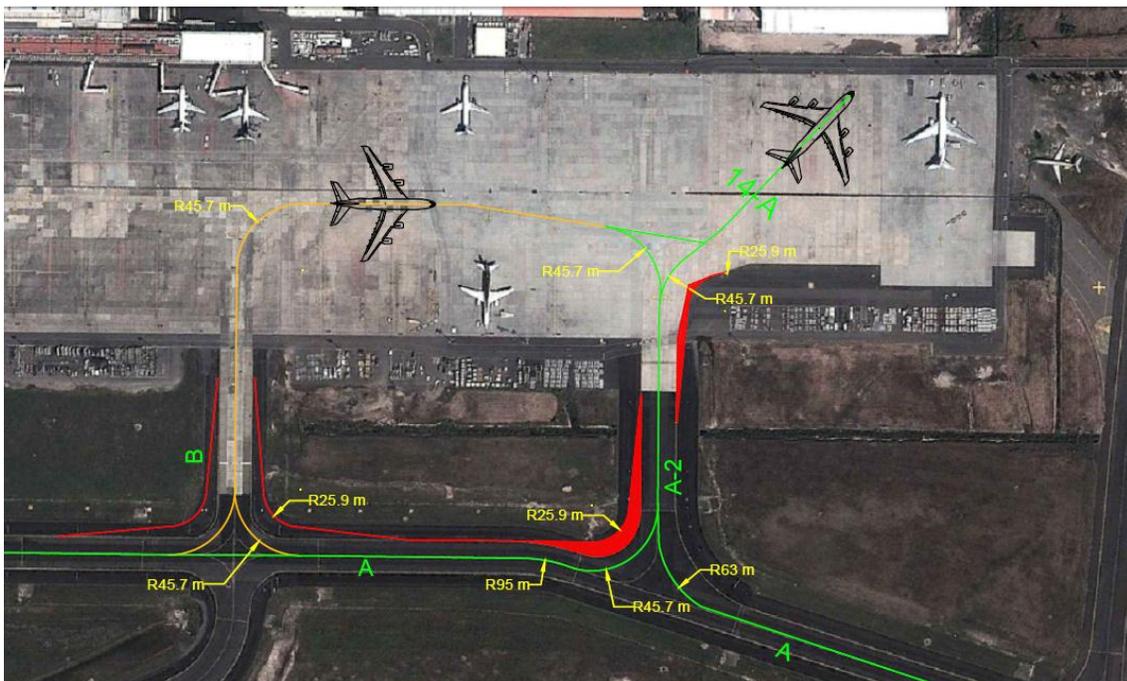


Figura 65 "Superficies de enlace de la intersección entre las calles de rodaje A y A2, y la intersección entre la calle de rodaje A2 y la plataforma de carga"

La tabla 55 muestra la cantidad total en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) y el tipo de pavimento que se requiere para que dichas superficies de enlace cumplan con los requerimientos que establece la OACI para la operación del A380.

*Tabla 55 "Superficie de enlace total requerida para el AIG"*

Superficie de enlace	Tipo y resistencia del pavimento	Superficie requerida (m <sup>2</sup> )
<b>A-Pista 10/28 (umbral 10)</b>	Concreto PCN 58/F/A/W	600
<b>A-A (umbral 10)</b>	Concreto PCN 58/F/A/W	847
<b>A-Pista 10/28 (umbral 28)</b>	Concreto PCN 58/F/A/W	600
<b>A-A (umbral 28)</b>	Concreto PCN 58/F/A/W	800
<b>A-A2</b>	ASPH PCN 100/F/B/W	930
<b>A2- Plataforma de carga</b>	ASPH PCN 100/F/B/W	302

A pesar de que el ACN que se calculó para el peso máximo de despegue es mayor que los PCN de algunas de las calles de rodaje que se plantearon para la ruta del A380 y de la plataforma de carga, no habrá algún inconveniente al operar el A380 en estas calles de rodaje debido a que en el AIG, al ser un aeropuerto alterno, no se despachará al avión con su peso máximo de despegue. Los operadores aéreos han cuantificado el peso de despegue de los aeropuertos alternos como el Peso Máximo de Aterrizaje (MWL) más dos horas de combustible.

Tomando las superficies requeridas de la tabla 55 se calculan las siguientes cantidades totales:

- 2 847 m<sup>2</sup> de concreto con una resistencia de 58/F/A/W
- 1 232 m<sup>2</sup> de asfalto con una resistencia de 100/F/B/W

De lo anterior concluimos que es necesaria una superficie extra total de 4 079 m<sup>2</sup> de pavimento de alta resistencia para las superficies de enlace que requiere el A380 para poder arribar a las posición te toma de contacto 14A.

Las superficies calculadas no incluyen la cantidad de pavimento requerida para los márgenes de las calles de rodaje.

### 4.9.3.3 Superficies de enlace modificadas en el AIC

Para la ruta que se planteó en la sección 4.9.2.3 “Análisis y comparación de las curvas de enlace de las calles de rodaje del AIC” se determinó que sólo una superficie de enlace no cumple con los requerimientos que establece el fabricante para la operación del A380.

En la figura 66 se puede observar que las dimensiones de las superficies de enlace del rodaje “A”, que conectan la pista 12R/23L con las plataformas de embarque y desembarque cumplen con los requerimientos del A380 para operaciones terrestres.



Figura 66 "Superficie de enlace del rodaje A que intersecta la pista 12R/30L en el umbral 30"

La figura 67, por otra parte, muestra la misma calle de rodaje “A” pero ahora en la intersección con la pista 12R/30L en el umbral 12. Se puede observar que las ruedas exteriores del tren principal del A380 mantienen los 4.5 m de distancia con respecto a la franja que delimita la calle de rodaje como lo establece la OACI en su anexo 14.

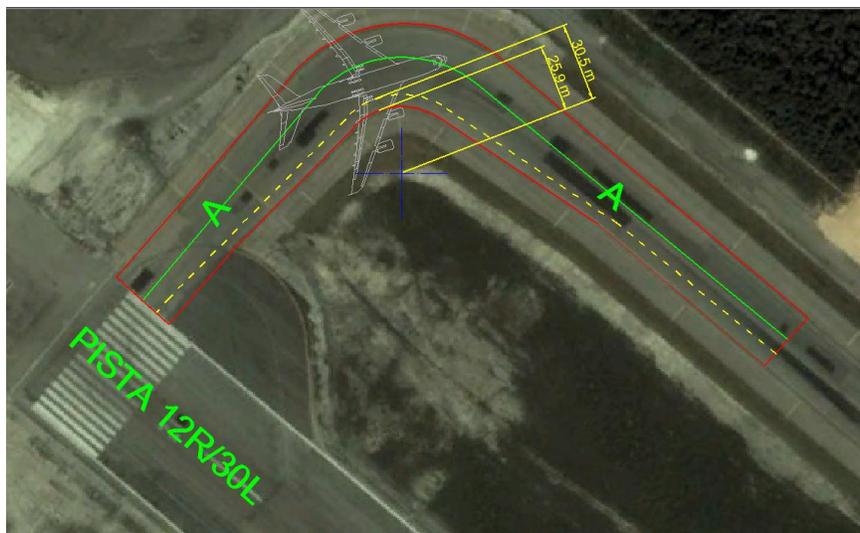
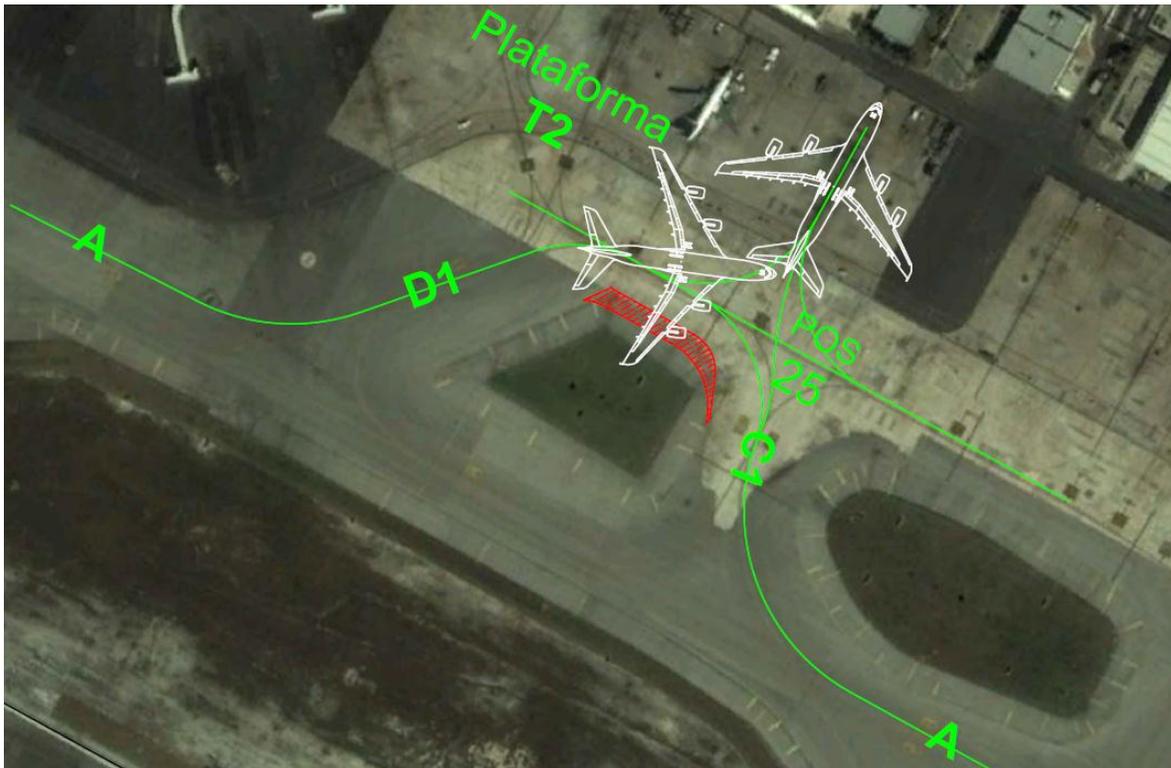


Figura 67 "Trayectoria de la rueda exterior del tren principal del A380 en un viraje de 90° sobre calle de rodaje A del AIC"

De la figura 67 las líneas rojas representan los márgenes que delimitan a la calle de rodaje, la línea verde es la señal de eje de rodaje y la línea punteada amarilla es la trayectoria que seguirían las ruedas exteriores del tren principal del A380.

En la figura 68 se muestran las dos posibles formas de arribar a la posición 25 y la dos posibles formas de desocupar la posición para arribar a la pista y efectuar un despegue. La plataforma de la terminal 2 (T2) tiene un PCN menor que el ACN del avión, sin embargo el ACN se calculó con el peso máximo de despegue que puede tener el A380 bajo las condiciones de elevación y temperatura que presenta el aeropuerto, pero el avión no será despachado con tal peso debido a la condición de aeropuerto alterno que tendrá el AIC.



*Figura 68 "Rutas de acceso y salida de la posición 25 y superficie de enlace D1-C1"*

La superficie de enlace C1-D1 requiere una superficie extra de 400 m<sup>2</sup> de concreto con un PCN de 50/R/A/W para cumplir con las dimensiones mínimas de superficie de enlace que establece el fabricante del avión (figura58).

## 4.10 Márgenes

Se denomina margen a la banda de terreno que bordea un pavimento tratada de forma que sirva de transición entre ese pavimento y el terreno adyacente.

Se deben proporcionar márgenes para asegurar una transición del pavimento de resistencia total a la franja de pista no pavimentada. Los márgenes pavimentados protegen el borde del pavimento de la pista o de la calle de rodaje, contribuyen a la prevención de erosión del suelo causada por el chorro del reactor y mitigan los daños de los reactores producidos por objetos extraños (FOD por sus siglas en inglés).

Para este estudio sólo se analizarán los márgenes con los que cuentan las pistas de los tres aeropuertos y la de sus respectivas calles de rodaje.

### 4.10.1 Márgenes de las pistas

Los márgenes de una pista deben prepararse o construirse de manera que se reduzca al mínimo el peligro que pueda correr un avión de salir de la pista.

En algunos casos, el terreno natural de la franja puede tener una resistencia suficiente que le permita satisfacer sin preparación especial alguna los requisitos aplicables a los márgenes. Cuando se necesite una preparación especial, el método empleado dependerá de las condiciones locales del terreno y del peso de los aviones que la pista esté destinada a servir.

OACI en su anexo 14 “Aeródromos”, sección 3.2 “Márgenes de las Pistas” recomienda que: *“Deberían proveerse márgenes en toda pista cuya letra de clave sea D o E y de anchura inferior a 60” y “Deberían proveerse márgenes en toda pista cuya letra de clave sea F”.*

Los márgenes deben extenderse simétricamente a ambos lados de las pistas de forma que la anchura total de éste no sea inferior a:

- 60 m cuando la letra de la clave del aeródromo sea D o E; y
- 75 m cuando la letra de la clave sea F.

### **Resistencia**

Los márgenes de la pista deben prepararse o construirse de manera que puedan soportar el peso de un avión que se salga de la pista sin que éste sufra daños estructurales, y soportar los vehículos terrestres que puedan circular sobre el margen.

#### 4.10.1.1 Márgenes de las pistas 05R/23L y 05L/23R del AICM

El AICM cuenta con 2 pistas de 45 m de ancho y como se establece en la sección anterior, por ser un aeropuerto de categoría D cuenta con un ancho total de 60 m en cada pista. Esto significa que las pistas del AICM tienen un margen de 7.5 m de ancho en cada extremo.

Para que el A380 pueda tener operaciones en el AICM los márgenes de las pistas deberán aumentarse a 75 m, que es el ancho establecido para aeropuertos de categoría F, los cuales tendrían como avión crítico el A380. Los márgenes de la pista de la pista 05R/23L, que albergará la mayoría de las operaciones de este avión, deben aumentarse 7.5 m de ancho en cada extremo

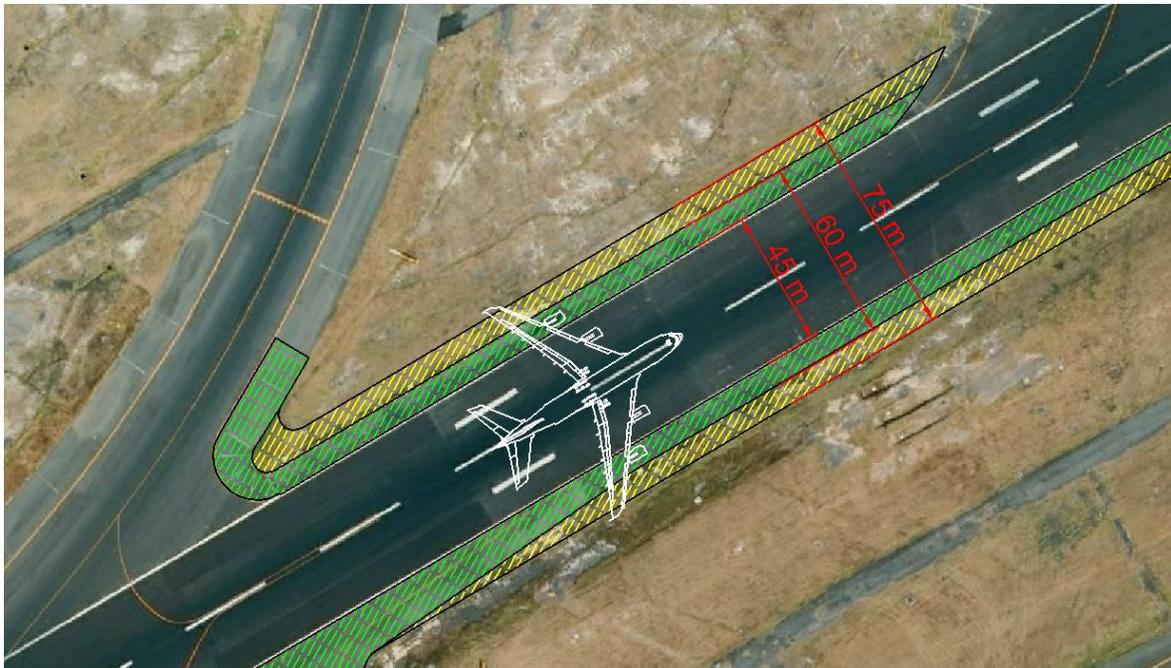
En las siguientes tablas se recopilan las superficies parciales que se deben aumentar en cada extremo de las pistas 05R/23L y 05L/23R.

*Tabla 56 "Superficies requeridas para el ensanchamiento de los márgenes de la pista 05R/23L"*

PISTA 05R/23L	
Sección	Superficie (m <sup>2</sup> )
<b>Inicio de zona de protección del umbral 05R-A (derecha)</b>	507.61
<b>Inicio de zona de protección del umbral 05R-A (izquierda)</b>	728.67
<b>A-A1 (derecha)</b>	364.10
<b>A-A1 (izquierda)</b>	1 077.01
<b>A1-B2</b>	534.16
<b>A1-B3</b>	992.44
<b>B2-B3</b>	277.49
<b>B3-B4</b>	2 093.82
<b>B3-A4</b>	1 560.34
<b>A4-B6</b>	3 821.29
<b>A4-B4</b>	737.67
<b>B4-A5</b>	2 685.30
<b>A5-E1</b>	863.51
<b>B7-E2 (derecha)</b>	3 487.74
<b>B7-E2 (izquierda)</b>	3 284.92
<b>E2-E (derecha)</b>	3 824.62
<b>E2-E (izquierda)</b>	2 634.73
<b>E-F</b>	579.63
<b>E-G</b>	1 701.42
<b>F-B</b>	1 888.37
<b>G-H</b>	2 532.95
<b>B,H-Plataforma de viraje</b>	2 715.10
<b>B-D1</b>	3 059.80
<b>D1-D</b>	106.36
<b>Plataforma de viraje-Final de zona de protección del umbral 23L</b>	1 137.82
<b>D-Final de zona de protección umbral 23L</b>	353.87

Sumando todas las áreas parciales calculadas de la tabla 56, se obtiene una superficie total de 43 551 m<sup>2</sup> de pavimento extra con una resistencia capaz de soportar el peso máximo de despegue del A380 si este se despistara al efectuar un despegue.

La figura 69 muestra en color verde los márgenes de 60 m con los que cuenta la pista 05R/23L actualmente y en color amarillo la superficie requerida para aumentar a 75 m el ancho de la pista.



*Figura 69 "Márgenes actuales y propuestos de una sección de la pista 05R/23L"*

En la figura 69 podemos observar que los motores externos del A380 quedan dentro de los márgenes de 60 m, sin embargo el índice de daños causados por la ingestión de objetos extraños es considerable y por lo tanto objeto de preocupación continua. Con aeronaves tan grandes como el A380 es probable que este problema aumente, por lo tanto es necesario proteger los márgenes. Asimismo, al ser un avión de mayor capacidad, los motores son de mayor potencia. Por tal motivo es importante proteger al suelo de la erosión provocada por el chorro de las turbinas. La solución aparente es aumentar los márgenes de las pistas hasta un ancho donde el chorro de los motores no pueda erosionar el suelo.

La tabla 57 muestra la superficie de las distintas secciones de la pista 05L/23R que se requieren para tener un ancho total de pista de 75 m.

Tabla 57 "Superficies requeridas para el ensanchamiento de los márgenes de la pista 05L/23R"

PISTA 05L/23R	
Sección	Superficie (m <sup>2</sup> )
<b>A1-A2</b>	2 900.44
<b>A2-B1</b>	1 434.53
<b>B2-B3</b>	941.60
<b>B3-B5</b>	3 473.97
<b>B5-B6</b>	592.70
<b>B4-A4</b>	4 376.60
<b>B6-B7</b>	2 464.34
<b>A4-B7</b>	1 247.74
<b>B7-E2 (derecha)</b>	4 188.75
<b>B7-E2 (izquierda)</b>	4 175.41
<b>E2-C2</b>	3 116.71
<b>C2-B8</b>	908.34
<b>B8-B9</b>	2 549.39
<b>E2-E</b>	7 451.19
<b>E-B</b>	921.50
<b>B- Final de zona de protección del umbral 23R</b>	1 434.53
<b>B-Plataforma de viraje 23R</b>	1 913.99

Sumando todas las áreas parciales calculadas de la tabla 57, resulta una superficie total de 45,742 m<sup>2</sup> de pavimento extra con una resistencia capaz de soportar el peso máximo de despegue del A380 si este se despistara al efectuar un despegue.

Sumando las superficies requeridas por ambas pistas resulta una superficie total de pavimento extra para ensanchar a 75 m los márgenes de la pista 05R/23L y 05L/23R de 89,293 m<sup>2</sup>.

Se recomienda que sólo se aumente la superficie de los márgenes de la pista 05R/23L debido a que las operaciones del A380 se efectuarán en esta pista por las distintas razones expuestas a lo largo de este estudio. La pista 05L/23R sólo se utilizaría para operaciones del A380 cuando la pista 05R/23L no esté operable por mantenimiento, inspección, contaminada o por algún evento que imposibilite la operación de ésta.

La figura 70 muestra la superficie que deberá de aumentarse a las dos pistas (05R/23L y 05L/23R) para tener un ancho total de 75 m.



*Figura 70 "Márgenes de 75 m de las pistas 05R/23L y 05L/23R"*

#### 4.10.1.2 Márgenes de las pistas del AIG y del AIC

Un estudio realizado por Airbus (documento: Impact of A380 Jet Blast on Runways) establece los anchos de pista requeridos para la operación regular del A380 así como la operación en aeropuertos alternos con operaciones esporádicas. En la sección anterior se desarrollaron los requerimientos de las pistas del AICM para la operación del A380 al ser el aeropuerto base para las operaciones de dicho avión desde y hacia México. Los siguientes requerimientos sólo aplicarán para el AIG y el AIC por tener la condición de aeropuertos alternos para las operaciones del A380.

Los requisitos establecidos por la OACI que deben cumplir los aeropuertos en los cuales se haya de desarrollar de forma regular la operación de aeronaves clave F son los siguientes:

- Aeropuertos en los que se programen de forma regular como alternativos (AIG y AIC) o que reciban operaciones esporádicas programadas. Se deben coordinar anticipadamente las medidas con ATC y las compañías operadoras, aunque pueden admitirse ciertas restricciones y limitaciones. Debe evitarse perjudicar en exceso a los operadores basados en el Aeropuerto.
- Operaciones no planificadas, principalmente como consecuencia de una emergencia, en los cuales resultará tolerable que se vea afectado de forma significativa la operación normal del aeropuerto.

Las características físicas de las pistas de aeropuertos alternos o con operaciones esporádicas del A380 deben contar como mínimo con:

- Pistas de 60 m de ancho sin márgenes en los extremos de la misma.
- Pistas de 45 m de ancho con dos márgenes de 7.5 m de ancho, uno en cada extremo de la pista.

Los aeropuertos de Guadalajara y de Cancún (como se ha descrito en secciones anteriores) cuentan con pistas de 60 m de ancho sin márgenes. Al no ser aeropuertos que albergarán operaciones regulares del A380, no es necesario aumentar el ancho de las pistas con márgenes hasta un total de 75 m. Hay que tomar en cuenta los siguientes aspectos para la operación del A380 en pistas de 60 m de ancho total.

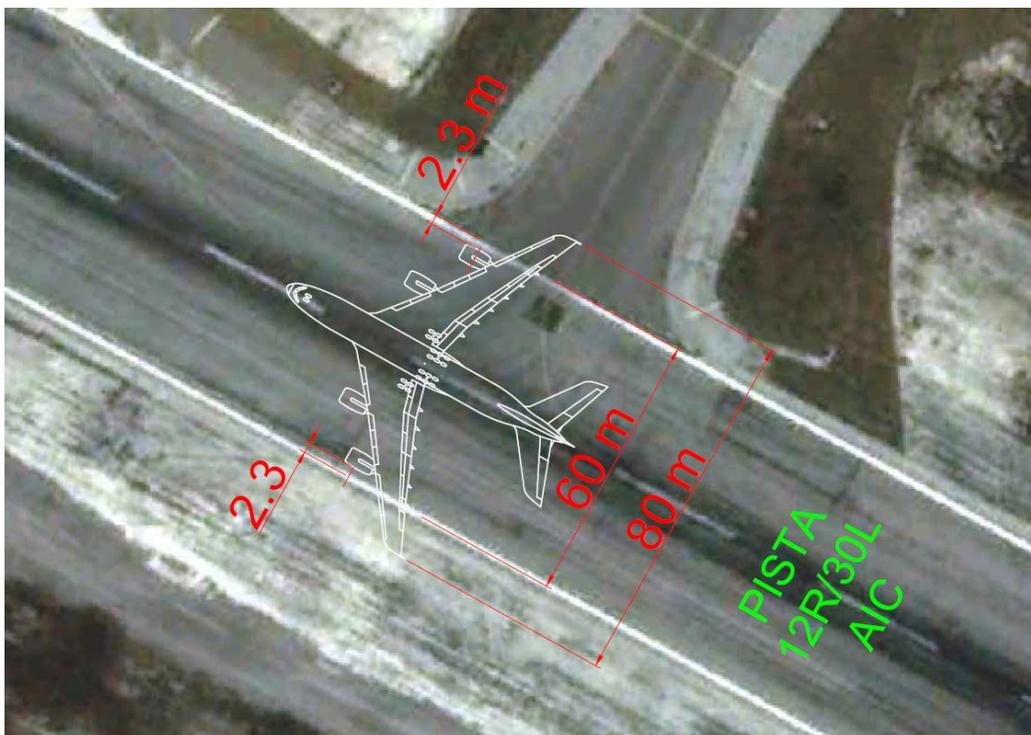
Protección contra el chorro:

- El motor exterior del A380 se ubicaría dentro de la zona pavimentada de la pista (Figura 71), por lo que habría cierta protección contra el efecto del empuje de dicho motor.
- En caso de aterrizaje, ni la erosión por el chorro ni el riesgo de ingestión de FOD es crítico para el A380, ya que los motores externos no cuentan con empuje de reversa.

- En el caso de despegue, la protección contra el chorro requerida es superior a los 4.6 m. provistos por el margen “interno”. La ausencia de márgenes “externos” puede generar riesgos de ingestión en el despegue para el A380 o la aparición de FOD en la pista o márgenes “internos”, que pueden ser peligrosos para el siguiente movimiento.

Para la operación del A380 en pistas de 60 m de ancho se deben tomar las siguientes medidas de seguridad:

- El uso de la pista para un aterrizaje no requiere procedimientos especiales por no suponer riesgos específicos. La realización previa de una inspección de pista es admisible.
- En el caso de los despegues es preciso inspeccionar la pista previamente. Posteriormente al despegue debe realizarse una nueva inspección de pista con objeto de comprobar que no hay objetos que se hayan desplazado por efecto del chorro de los motores al interior de la pista o franja.
- Adicionalmente con el fin de reducir el área de acción del chorro, la operación de despegue debe realizarse con potencias reducidas de motor.



*Figura 71 "Distancia de los motores externos al margen interno de la pista 12R/30L del AIC"*

#### 4.10.2 Márgenes de las calles de rodaje

El fin principal por el que se procura un margen de calle de rodaje son: prevenir que los motores de reacción que sobresalen del borde de la calle de rodaje ingieran piedras u otros objetos que puedan producir daños al motor, prevenir la erosión del área adyacente a la calle de rodaje y proporcionar una superficie para el paso ocasional de las ruedas de las aeronaves. Un margen debería poder soportar la carga de las ruedas del vehículo mas pesado de emergencia del aeropuerto.

Cabe señalar que se consideran como apropiados los márgenes 10.5 m de anchura para la letra de clave E a los dos lados de la calle de rodaje y de 17.5 m para la letra de la clave F. Estos requisitos relativos a la anchura del margen de la calle de rodaje se basan en las aeronaves más críticas en servicio actualmente. En los aeropuertos existentes es conveniente proteger un área mayor, si se prevén operaciones con aviones más grandes como el A380, ya que las posibilidades de daños a causa de objetos extraños y el efecto del chorro de escape en el margen de la calle de rodaje durante el arranque serán mayores que en el caso de los aviones B747-400.

La superficie del margen a continuación de la calle de rodaje deberá estar nivelada con la superficie de la calle de rodaje.

#### **Cálculo del espesor de los márgenes y tipo de pavimento**

El espesor de los márgenes de las calles de rodaje deberá permitir el paso ocasional de la aeronave crítica utilizada para el diseño del pavimento, así como la carga crítica del eje de los vehículos de emergencia o mantenimiento que puedan pasar sobre la zona. Además deberán tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- a) El espesor mínimo necesario de los márgenes para permitir el paso de la aeronave crítica puede considerarse igual a la mitad del espesor total requerido para la zona pavimentada adyacente.
- b) Debe considerarse la carga del eje del vehículo de emergencia o mantenimiento más pesado que atraviesa la zona para la determinación del espesor del pavimento. Si el espesor es superior al que se indica en el inciso a, entonces este espesor calculado deberá utilizarse para los márgenes
- c) El espesor de superficie mínimo recomendado, en el caso de hormigón bituminoso sobre una base de grava, es de 7.5 cm para márgenes de las calles de rodaje donde el avión crítico sea el B747 o un avión mas grande como el A380.
- d) Se recomienda también utilizar bases estabilizadas en los márgenes. Se recomienda una base de hormigón bituminoso de 5 cm como mínimo sobre una base estabilizada.
- e) Conviene utilizar hormigón de cemento Portland y una base secundaria granular para los márgenes. Se recomienda un espesor mínimo de 15 cm de hormigón de cemento.
- f) Deberán utilizarse para los terrenos de fundación explanada y recorridos pavimentados en los márgenes los mismos criterios sobre densidad y construcción que en las zonas con pavimento en plena resistencia.

#### 4.10.2.1 Márgenes de las calles de rodaje del AICM

En el anexo 14 “Aeródromos”, parte 3.10 “Márgenes de las Calles de Rodaje” establece que: “Los tramos rectilíneos de las calles de rodaje que sirvan a pistas de letra de clave D deberían tener márgenes que se extiendan simétricamente a ambos lados de la calle de rodaje, de modo que la anchura total de la calle de rodaje y sus márgenes en las partes rectilíneas no sea menor de 38 m. En las curvas, uniones e intersecciones de las calles de rodaje en que se proporcione pavimento adicional, la anchura de los márgenes no debería ser inferior a la correspondiente a los tramos rectilíneos adyacentes de la calle de rodaje”.

El AICM, al ser un aeropuerto con letra de clave de referencia D, cuenta en su mayoría con calles de rodaje con un ancho de 38 m. Como se describe en la sección 4.10.2 “Márgenes de las calles de rodaje”, los aeropuertos que alberguen operaciones del A380 de forma regular deben de contar con calles de rodaje de 60 m de ancho, por lo menos en la ruta que se plantea para el desalojo de la pista hacia la posición de toma de contacto en la plataforma terminal y viceversa.

Las rutas que se plantearon para el desalojo del A380 de la pista 05R/23L hacia las posiciones de toma de contacto 55A y 57A de la terminal 2 (T2) y las rutas de salida de posición hacia los umbrales 05R y 23L se modificaron y se vieron considerablemente disminuidas para que la inversión que se pueda generar por la cantidad de pavimento requerido para el ensanchamiento de las calles de rodaje sea el mínimo posible. En las secciones siguientes se describirán las rutas planteadas para el arribo a la posición de toma de contacto del A380 y a los umbrales 05R y 23L desde el edificio terminal.

Las tablas 58.1 y 58.2 muestran las secciones de las calles de rodaje que se tendrían que ensanchar a 60 m para la segura operación del A380 y la superficie de pavimento requerida para hacerlo.

*Tabla 58.1 "Superficies requeridas de pavimento para ensanchar las calles de rodaje a 60 m"*

Calle de rodaje	Sección	Superficie (m <sup>2</sup> )
D (Figura 72-amarillo)	Entre umbral 23L y D1	643.48
D (Figura 72-amarillo)	Entre umbral D1 y B	2431.52
D (Figura 72-rojo)	Entre umbral 23L y B	4 498.25
D (Figura 72-amarillo)	Entre B y H	874.94
D (Figura 73-amarillo)	Entre H y G	1 202.33
D (Figura 74-amarillo)	Entre G y E	5 613.83
D (Figura 72, 73, 74-rojo)	Entre B y E	11 612.07
E (Figura 75-amarillo)	Entre D y Pista 05R/23L	3 045.57
E (Figura 75-rojo)	Entre D y E	3 768.80
D (Figura 75,76-amarillo)	Entre E2 y B7	1 600.48
D (Figura 75,76-rojo)	Entre E2 y B7	1 914.71
D (Figura 76-amarillo)	Entre B7 y E1	905.65
D (Figura 76-amarillo)	Entre B7 y E1	1 850.37

Tabla 58.2 "Superficies requeridas de pavimento para ensanchar las calles de rodaje a 60 m"

Calle de rodaje	Sección	Superficie (m <sup>2</sup> )
<b>D</b> (Figura 76, 77-amarillo)	Entre E1 y A5	1 831.97
<b>D</b> (Figura 76, 77-rojo)	Entre E1 y A5	1 359.43
<b>A5</b> (Figura 77-amarillo)	Entre B4 y E	1 589.21
<b>A5</b> (Figura 77-rojo)	Entre B4 y E	441.30
<b>E</b> (Figura 77, 78-amarillo)	Entre A5 y A4	3 101.90
<b>E-A4-PH</b> (Figura 78)	Entre E, A4 y PH	4 573.56
<b>K-L</b> (Figura 78)	Entre K y L	829.93
<b>B3-E-A4</b> (Figura 78-sup)	Entre B3, E y A4	2 960.20
<b>B3-E-A4</b> (Figura 78-inf)	Entre B3, E y A4	2 921.60
<b>B3-L-A4</b> (Figura 78)	Entre B3, L y A4	3 422.87
<b>A1</b> (Figura 78)	Entre A1 y B3	489.20
<b>A4</b> (Figura 79-amarillo)	Entre Pista 05R/23L y Rodaje para vehículos	1 447.95
<b>A4</b> (Figura 79-rojo)	Entre Pista 05R/23L y Rodaje para vehículos	1 730.90
<b>B3</b> (Figura 79-amarillo)	Entre Pista 05R/23L y unión con B3	935.92
<b>B3</b> (Figura 79-rojo)	Entre Pista 05R/23L y unión con B3	757.64
<b>A1</b> (Figura 79-rojo)	Entre Pista 05R/23L y B3	2 044.60
<b>A1</b> (Figura 79-amarillo)	Entre pista 05R/23L y zona pavimentada existente	860.29

La superficie total requerida para que las secciones o la totalidad de las calles de rodaje de las tablas 58.1 y 58.2 tengan un ancho total de 60 m será de 73 940m<sup>2</sup>. Empleando pavimento con las características que se mencionan en la sección anterior.

Las modificaciones a las rutas que se establecieron anteriormente son:

- Si el A380 efectuara un aterrizaje por la pista 05R, solo podrá desalojar la misma por el rodaje D.
- Si el A380 efectuara un aterrizaje por la pista 23L, ya no podrá desalojar la pista por el rodaje A5, tendrá que hacerlo hasta A4, B3 o A1.
- Si el A380 requiere despegar por la pista 23L, solo podrá ocuparla entrando por el rodaje D.

Las calles de rodaje cercanas al edificio terminal que se propusieron para las rutas de despegue y aterrizaje del A380, se eligieron con la finalidad de agilizar los movimientos del avión para el arribo o el desalojo de las posiciones de contacto 55A y 57A de la terminal 2 (T2) y la menor afectación posible a las operaciones de los demás aviones.

Las siguientes figuras muestran la superficie que se requiere aumentar a los márgenes de las calles de rodaje que se plantean para la ruta del A380 en tierra. Las zonas achuradas amarillas y rojas muestran la superficie requerida para ensanchar los márgenes de las calles de rodaje, la línea verde es la señal de eje de rodaje que seguirá el A380 y las líneas azules son los márgenes internos de la calle de rodaje.



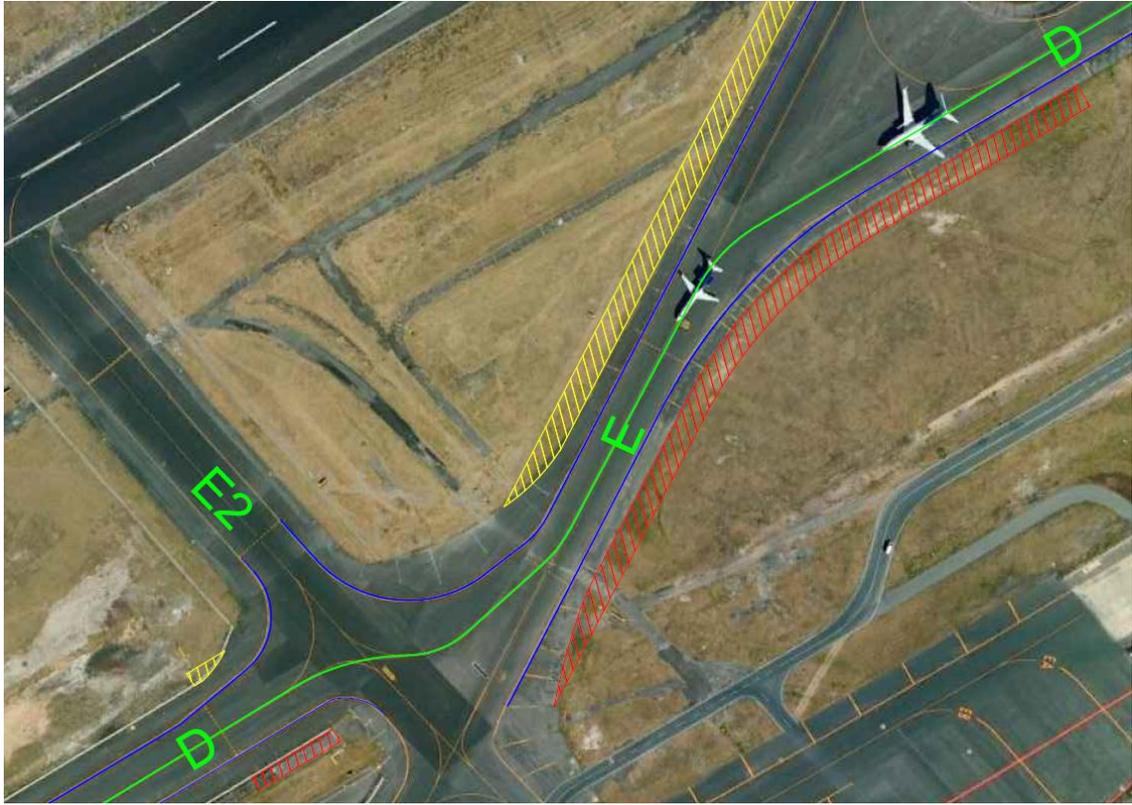
*Figura 72 "Rodaje D del umbral 23L al rodaje H"*



*Figura 73 "Rodaje D desde el rodaje H hasta el rodaje G"*



*Figura 74 "Rodaje D desde el rodaje G has el rodaje E"*



*Figura 75 "Rodaje E desde el rodaje D hasta el rodaje E2"*



*Figura 76 "Rodaje D desde el rodaje E2 hasta el rodaje E1"*



*Figura 77 "Rodaje A5 y D desde el rodaje E1 hasta el rodaje E"*

La figura 78 muestra las superficies que deberían de aumentarse a los márgenes de las calles de rodaje que están cercanas al edificio de terminal 2, las líneas en verde muestran la trayectoria que podrá seguir el A380 para arribar o desalojar las posiciones 55A y 57A, las líneas azules muestran las trayectorias por donde el A380 no podría rodar (no se sugieren modificaciones a estas calles de rodaje debido a que no son indispensables para la ruta en tierra del avión), las líneas rojas representan los márgenes internos de las calles de rodaje, las zonas rojas achuradas son las superficie requerida para la modificación de la superficies de enlace (ver sección 4.9.3.1 Superficies de enlace modificadas en el AICM ) y las zonas achuradas en amarillo muestran las superficies requeridas para aumentar el ancho de los márgenes de las calles de rodaje a 60 m.

La figura 79 muestra los márgenes y la superficie de enlace que se deberán modificar de las calles de rodaje que interceptan a la pista 05R/23L cerca del umbral 05R. Las líneas verdes muestran la trayectoria que el A380 podría seguir para arribar a la pista 05R o desalojar la pista 23L, las líneas azules ilustran los márgenes internos de la pista y de las calles de rodaje, las líneas rojas muestran los márgenes externos de la pista que habría de modificarse para que tenga un ancho total de 75 m, la zona achurada verde muestra la superficie de enlace que se debe de modificar en el rodaje A1, y las zonas achuradas en amarillo y rojo muestran la superficie requerida para ensanchar las calles de rodaje a 60 m.



*Figura 78 "Calles de rodaje que permiten el arribo o el desalojo de las posiciones 55A y 57A de la terminal dos (T2)"*



*Figura 79 "Calles de rodaje que permitirían el arribo o el desalojo del A380 de la pista 05R/23L"*

#### 4.10.2.2 Márgenes de las calles de rodaje del AIG y del AIC

Como se ha planteado en la sección anterior, la OACI establece anchos de calle de rodaje de 60 m para que el A380 pueda rodar sobre ellas, las calles de rodaje del AIG y del AIC, al tener la letra de clave de referencia “E”, tienen un ancho total de 45 m, con márgenes de 11 m de ancho en cada extremo de la calle de rodaje.

El objetivo del margen es prevenir la erosión causada por el chorro de los motores y la ingestión de objetos a los mismos. Los márgenes pueden estar pavimentados o estabilizados por una superficie natural. Los motores interiores del A380 están 0,5 m más altos que los del B747 y los exteriores, 1.2 m, por lo que los riesgos de ingestión y erosión deben ser menores.

Cabe la posibilidad de que se limite la potencia de los motores exteriores, e incluso, que se apaguen, durante el rodaje del A380.

Rodar con dos motores no es inusual tras aterrizar. En el caso del despegue, se precisaría arrancar los motores exteriores cerca o en la pista, lo cual supone un tiempo de ocupación de pista un poco más largo que podría llegar a afectar el flujo de tráfico.

En caso de rodar con solo dos motores, es preciso prestar especial atención en las curvas cerradas, donde se utiliza empuje asimétrico. Previamente al inicio de la operación, aquellas áreas que se consideren especialmente expuestas al efecto del chorro serán acondicionadas. Una vez iniciada la operación, si se detectan otras zonas, se tomarán medidas para minimizar el efecto.

En consecuencia no se proponen ensanchamientos de los márgenes ya existentes y aunque el tiempo de ocupación del avión en la pista o en el rodaje será considerablemente mayor, el AIG y el AIC solo albergarán ocasional o esporádicamente las operaciones del A380. En caso de que en determinadas circunstancias la Dirección del Aeropuerto lo considere necesario, puede utilizarse el procedimiento para guiar a la aeronave (*follow me*), el cual consiste en que un vehículo es seguido por el avión hasta llegar a su posición en tierra

#### 4.11 Análisis de plataforma

La plataforma es el área definida en un aeródromo terrestre destinada a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.

La OACI establece en su anexo 14 “Aeródromos”, sección 3.13 “Plataformas” que: *“Deberán proveerse plataformas donde sean necesarias para que el embarque y desembarque de pasajeros, carga o correo, así como las operaciones de servicio a las aeronaves puedan hacerse sin obstaculizar el tránsito del aeródromo”*.

##### **Extensión de las plataformas**

El área total de las plataformas deberá ser suficiente para permitir el movimiento rápido del tránsito de aeródromo en los períodos de densidad máxima prevista.

##### **Resistencia de las plataformas**

Toda parte de la plataforma deberá poder soportar el tránsito de las aeronaves que hayan de utilizarla, teniendo en cuenta que algunas porciones de la plataforma estarán sometidas a mayor intensidad de tránsito y mayores esfuerzos que la pista como resultado del movimiento lento o situación estacionaria de las aeronaves.

##### **Márgenes de separación en los puestos de estacionamiento de aeronave**

Un puesto de estacionamiento de aeronaves deberá proporcionar un margen mínimo de separación entre la aeronave que utilice el puesto y cualquier edificio, aeronave en otro puesto de estacionamiento u otros objetos adyacentes. Los aeropuertos con clave letra de clave de referencia D, E y F deben tener 7.5 m de margen.

En las plataformas, también debe tomarse en consideración la provisión de calles de servicio y zonas para maniobras y depósito de equipo terrestre.

El fabricante en su manual “A380-Airplane Characteristics for Airport Planning” establece los servicios requeridos por el avión en la zona de parada (embarque y desembarque de pasajeros y carga), así como el espacio requerido para poder brindar estos. En la figura 80 se muestran la superficie requerida libre de obstáculos en la plataforma de parada donde se opere el A380.





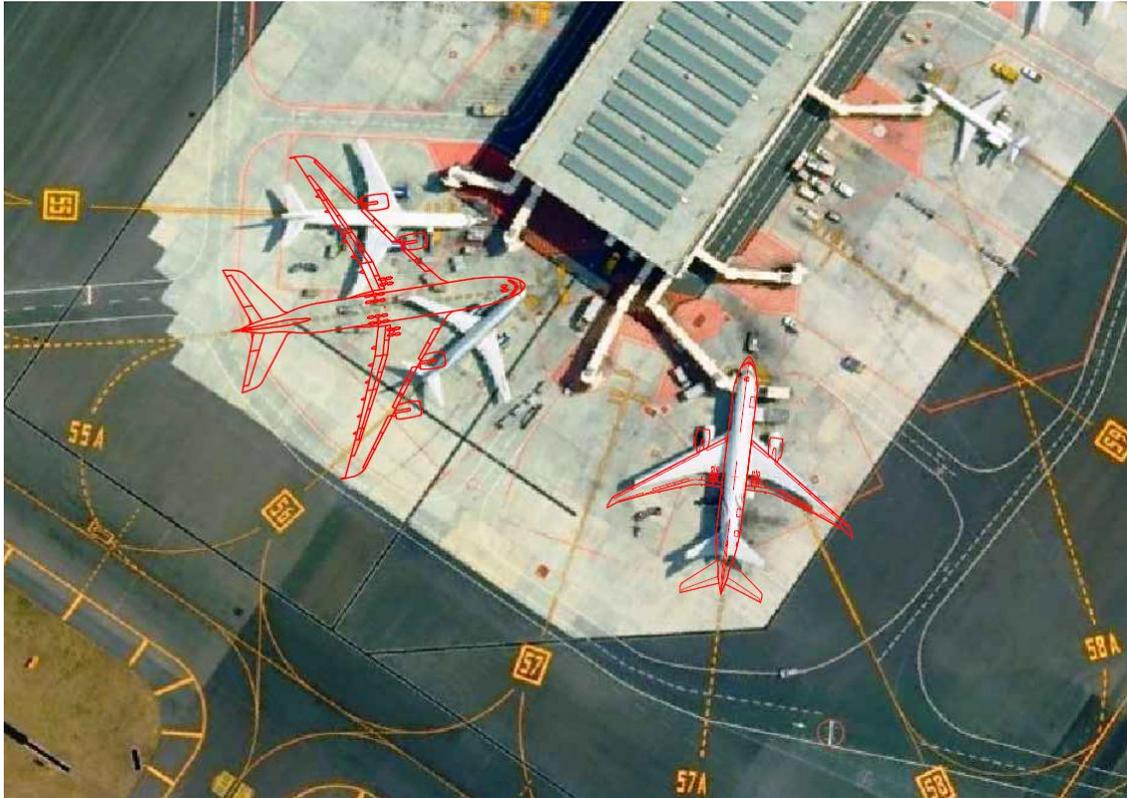
*Figura 81 "A380 en posición 55A y B777 en posición 57A (tomado de Google Earth del año 2007)"*

En la figura 82 se observa el cierre de las posiciones 55 y 56 para que el A380 pueda ocupar la posición 55A, en el caso de la posición 57A se puede observar cómo están inhabilitadas las posiciones 57 y 58.



*Figura 82 "A380 en posición 55A y B777 en posición 57A (tomado de Google Earth del año 2009)"*

Por último, en la figura 83 tenemos la vista en planta del A380 (posición 55A) y del B777 (posición 57A).

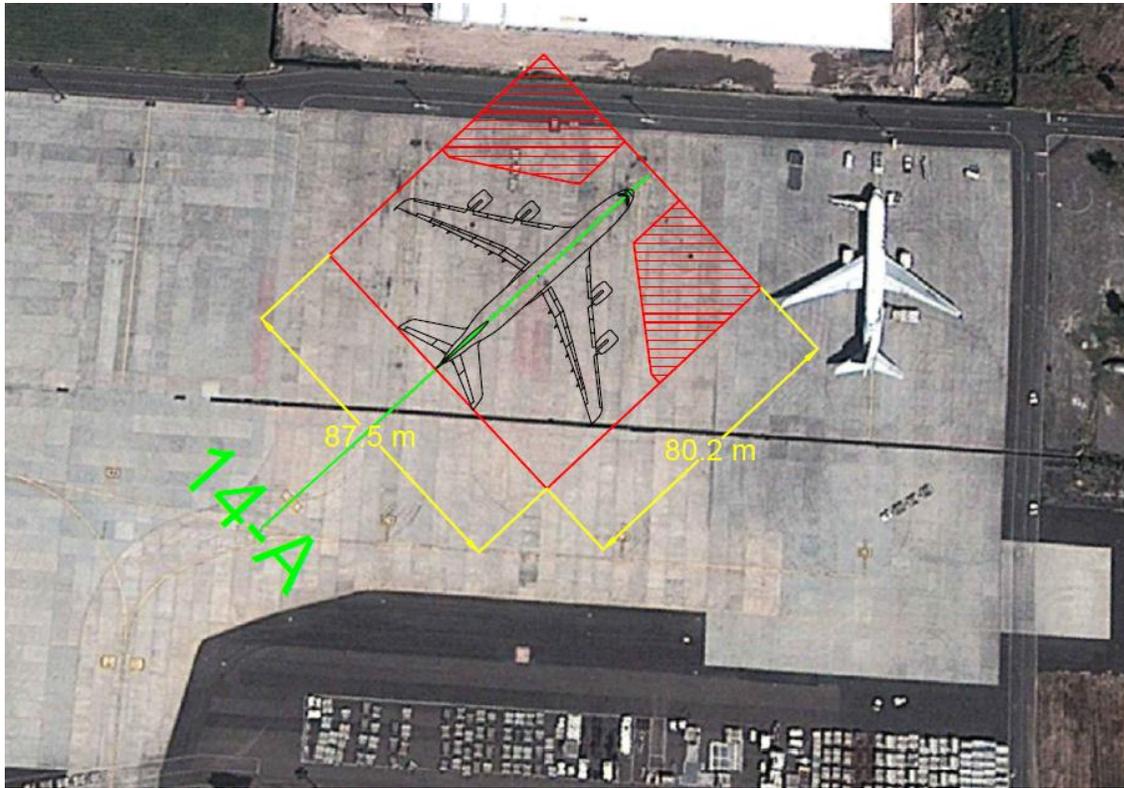


*Figura 83 "Vista en planta de las posiciones 55A y 57A ocupadas por un A380 y B777 respectivamente"*

#### 4.11.2 Plataforma del AIG

El Aeropuerto de Guadalajara no cuenta con una posición de atraque para el A380. En este caso por ser un aeródromo alternativo, se eligió la posición 14A en el área de carga por ser la posición de contacto más grande y cercana al edificio terminal. Esta posición por su ubicación, no contará con pasillos telescópicos para el embarque y/o desembarque de pasajeros.

En la figura 84 se observa que la posición 14A cumple con los requerimientos de espacio que establece el fabricante (*Figura 84 "Márgenes de rampa"*). Las áreas achuradas indican las secciones que ocuparían los pasillos telescópicos si los hubiera.



*Figura 84 "Posición 14A sugerida para el A380"*

En la figura 85 se muestra una vista en 3D del A380 en la posición 14A.



*Figura 85 "Posición 14A ocupada por el A380"*

### 4.11.3 Plataforma del AIC

El AIC no cuenta con una posición que cumpla con los márgenes que requiere el A380, se propone que se utilice la posición 25 que está ubicada en la Terminal 2 (T2) que es la que presenta menos contratiempos para la operación del avión en tierra. Los inconvenientes que se tendrán como resultado de la operación del A380 en el AIC serán:

- Cuando la aeronave este en la posición 25, no se podrán efectuar operaciones en el rodaje D1 entre la posición 24 y la calle de rodaje C1.
- No se podrá operar la posición 24.
- La posición 26 solo podrá ser ocupada por aeronaves con una envergadura menor a 50 m cuando el A380 se encuentre en la posición 25 (figura 86).
- Cuando el A380 requiera utilizar la pista 30L para efectuar el despegue, no debería de haber alguna aeronave estacionada en la posición 23 y 24.
- Cuando el A380 requiera despegar por la pista 12R, no debería de haber un avión estacionado en la posición 26 sin importar la magnitud de su envergadura.

La ubicación del A380 en la posición 25 sería solo un procedimiento de emergencia por lo cual no se propone modificación a los márgenes ya establecidos sino solo la notificación de un procedimiento especial.

Por otra parte la resistencia del pavimento requerida para que el A380 pueda operar en la plataforma de la Terminal 2 (T2) con su peso máximo de despegue es de un PCN con un 12% de resistencia mayor que con el que cuenta actualmente la plataforma. Sin embargo no será necesario adecuar el PCN a tal magnitud debido a que el avión no será despachado para salir con el peso máximo de despegue.

La posición 25 no cuenta con pasillos telescópicos y tampoco con salas móviles por tal motivo el desembarque de pasajeros deberá ser sobre la plataforma. La terminal 2 (T2) es donde se desarrollan la mayoría de las operaciones internacionales regulares en el AIC, así que cuenta con servicios de aduana para agilizar el flujo de pasajeros en plataforma y en la terminal.

Las siguientes figuras nos muestran la posición 25 siendo ocupada por el A380. En la figura 86 se puede observar que la posición 24 no podrá ser ocupada y que la posición 26 sólo podrá ser ocupada por aviones con una envergadura menor a 50 m. En la figura 87 se observa una vista en 3D del A380 en dicha posición.



*Figura 86 "Márgenes de la posición 25"*

De la figura 86, las líneas rojas representan los márgenes requeridos para la posición que sirva de embarque y desembarque de pasajeros y carga del A380, la zona achurada en verde es el área en donde puede estar un avión con una envergadura máxima de 50 m.



*Figura 87 "Posición 25 ocupada por el A380"*

#### 4.12 Análisis del área de pasajeros de la Terminal 2 del AICM

Existen distintos tipos y conceptos de terminal de pasajeros, pero los conceptos básicos se pueden clasificar de la siguiente forma:

- a) Muelle/dedos (centralizado)
- b) Linear (semicentralizado o descentralizado)
- c) Transportador (centralizado)
- d) Satélite (centralizado)
- e) Módulo compacto de unidad terminal (semicentralizado o descentralizado)

Una unidad terminal en un aeropuerto podría ser desarrollada con distintas combinaciones de los conceptos anteriormente citados (satélite, dedos, lineal, etc.). Cada unidad tiene funciones independientes y puede ser construido de acuerdo a la demanda. La unidad terminal también ofrecerá flexibilidad sobre algunas construcciones adicionales a futuro.

La Terminal 2 del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México está basada en una combinación entre el concepto de Muelle/dedos (figura 88) y transportador donde todos los pasajeros y equipaje son centralizados en una sola construcción hacia y desde las posiciones de toma de contacto de los aviones, cada una de estas están conectada al edificio central a través de muelles o dedos. La terminal 2 del AICM cuenta con dos dedos (Norte y Sur) con 11 posiciones de toma de contacto para aviones en el dedo Norte, 12 posiciones para el dedo Sur y 7 posiciones remotas.

Los pasajeros con vuelo de salida son procesados en el área central de revisión y caminarán a sus respectivas salas de última espera, su equipaje es recolectado en los mostradores de la central de revisión y es transportado al área de clasificación de equipaje para que a través de bandas éste sea llevado a los respectivos aviones que efectuarán los distintos vuelos.

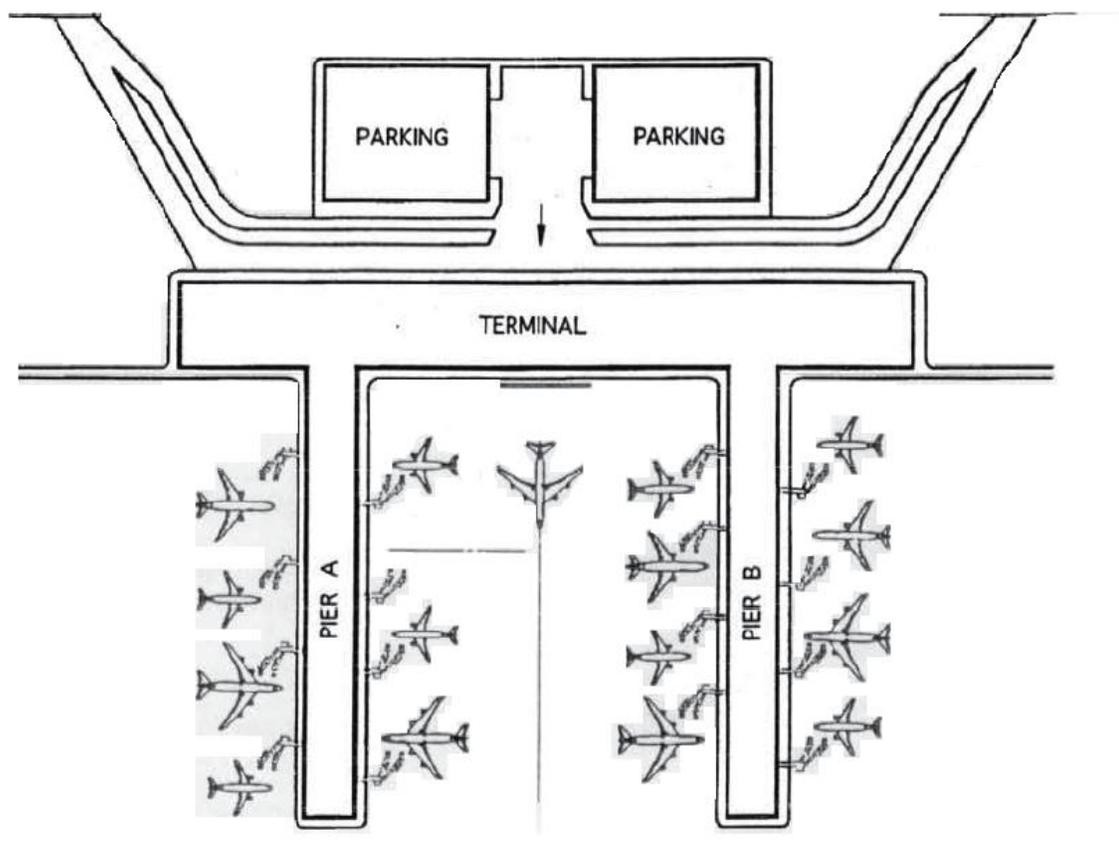
Los pasajeros que arriban y su respectivo equipaje son procesados en un flujo reversible, semejante al de salida.

Las ventajas que ofrece el concepto de muelles/dedos son:

- Centralización de las aerolíneas y de la Autoridad.
- Permite centralizar las facilidades/ lugares amenos (hoteles, restaurantes, tiendas, etc.).
- Uso relativamente simple de la información de vuelos que se muestra en pantallas.
- Facilita el control de pasajeros.

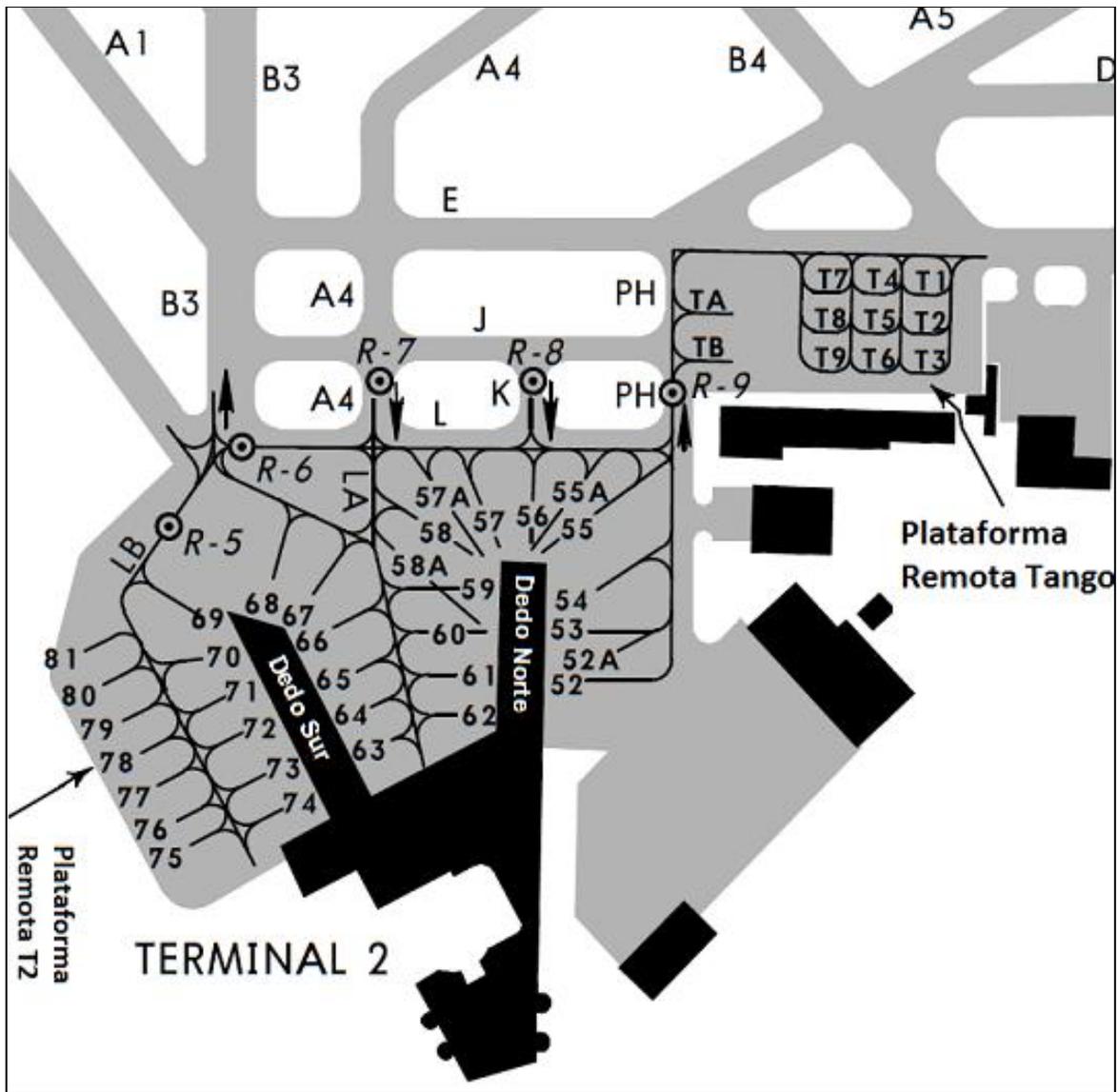
Las desventajas que ofrece el concepto de muelles/dedos son:

- Mayores distancias de recorrido para los pasajeros.
- Congestión de pasajeros en cortos periodos.
- Limita la posible expansión de la terminal principal.
- Reduce la circulación de aeronaves y la maniobrabilidad; limita la compatibilidad con futuras aeronaves de mayores dimensiones.
- La separación de pasajeros que arriban y que salen debe hacerse en diferentes niveles.



*Figura 88 "Diseño atípico de una terminal de pasajeros bajo el concepto de muelles/dedos"*

La figura 89 muestra la terminal 2 del AICM e ilustra la ubicación de las posiciones de toma de contacto de los aviones para el embarque y desembarque de pasajeros.



*Figura 89 "Configuración del Dedo Norte y Sur de la terminal 2, así como las posiciones remotas y la plataforma Tango"*

La Terminal 2 del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México está diseñada para albergar en sus plataformas a aviones de fuselaje estrecho como el Embraer 145 hasta aviones de fuselaje ancho como el Boeing 777 o el mismo A380.

Los aviones de fuselaje estrecho son estacionados en las posiciones remotas de la terminal 2 y en las posiciones de la plataforma remota tango. Los aviones que operan normalmente estas posiciones son: el Embraer 145 y el 190, en las posiciones de la plataforma Tango se operan normalmente los ATR42.

En las posiciones de toma de contacto del dedo Sur se operan normalmente aviones de fuselaje mediano, o de corto a mediano alcance debido a que es el área nacional de la terminal. Los aviones que normalmente operan estas posiciones son: el Embraer 190 y el Boeing 737 en sus distintas series.

Por último, en las posiciones del dedo Norte se operan normalmente aviones de mediano a largo alcance debido a que es el área internacional de la terminal. Los aviones que normalmente operan estas posiciones son: el Embraer 190, Boeing 737, Airbus 320, Boeing 757, Boeing 767 y el Boeing 777. A pesar de que actualmente solo se operan estos aviones, la Terminal 2 tiene la capacidad de albergar al A380 en dos de las posiciones de dicha terminal como se ha planteado a lo largo de este estudio.

### **Embarque de pasajeros**

La entrada directa al nivel de la aeronave se consigue a través de una pasarela o pasillo que permite al pasajero entrar a la aeronave desde el edificio terminal sin haber cambiado de nivel. Hay dos tipos de pasarelas:

- a) *Pasarela estacionaria*: Es una pasarela corta que va adosada a un saliente del edificio. La aeronave aparca con la proa o “nariz” hacia adentro, a lo largo de la citada saliente, deteniéndose con la puerta delantera frente a la pasarela.
- b) *Pasarela extensible*: Uno de los extremos de la pasarela telescópica va unida al edificio terminal mediante articulación, y el otro extremo se sostiene mediante dos ruedas gemelas direccionales, accionadas por motor. La pasarela se orienta hasta la aeronave y se alarga hasta alcanzar la puerta de la misma. El extremo que se acopla a la aeronave puede bajar o levantarse, lo que permite atender desde la pasarela a aeronaves que tienen distintas alturas de cabina.

Además de las pasarelas existen otros métodos para el abordaje o salida de pasajeros de la aeronave:

- a) Escalera móvil
- b) Transbordadores
- c) Aeronaves con escalerilla propia

La Terminal 2 del AICM cuenta con pasarelas extensibles telescópicas en el dedo Sur y en el dedo Norte. Si el A380 fuera aparcado en la posición 55A o en la posición 57A, entonces las pasarelas móviles de la posición 55 y 56 brindarán servicio a dos de las puertas del primer piso de la cabina de pasajeros del A380. Se efectuará el mismo procedimiento en el caso de la posición 57A sólo que ahora las pasarelas que brindarán el servicio serán las de las posiciones 57 y 58

## Capacidad de pasajeros de la Terminal 2 del AICM

El total de superficie construida del edificio de pasajeros es de 229 000 m<sup>2</sup>, incluye salas de última espera norte y sur, patio-hotel, estacionamiento cubierto y 140 000 m<sup>2</sup> de superficie exterior entre jardineras, plazas comerciales y vialidades internas. La plataforma de aviación comercial cuenta con una superficie total de 294 000 m<sup>2</sup> y está conformada por 96,000 m<sup>2</sup> de concreto hidráulico en la zona de estacionamiento de aeronaves para 23 posiciones fijas y 7 remotas, y 198 000m<sup>2</sup> de concreto asfáltico en las zonas de rodamiento.

El proyecto consistió en un conjunto de edificios que planteaba una solución con base en flujos tanto de pasajeros como de aeronaves, equipaje, vehículos y carga. El corazón del conjunto es el patio-hotel, el cual es el acceso principal que funciona como distribuidor de pasajeros y visitantes.

El patio-hotel da acceso al estacionamiento cubierto de siete niveles que tiene capacidad para 3 200 vehículos, al edificio de pasajeros con sus áreas de documentación, oficinas de líneas aéreas, restaurantes, bancos, servicios postales y comercios; así como también a los dos edificios llamados “dedos” por su forma y donde se ubican las salas de última espera en diversos niveles para evitar cruces, las áreas de circulación de llegada de pasajeros y las bandas de equipaje.

En el dedo norte se ubican las áreas de vuelos internacionales, migración y aduana; en el dedo sur: la estación de autobuses y la terminal de transporte que comunica a las dos terminales del AICM (T1 y T2).

El edificio incorpora los más modernos sistemas de seguridad de acuerdo con la normatividad internacional. Entre ellos, un sistema de separación de flujos de pasajeros, que permite la llegada de pasajeros por la planta baja y la salida por la planta alta. Con ello se amplía a 22m<sup>2</sup> por pasajero el espacio dentro del edificio de pasajeros.

La tabla 59 muestra las superficies principales de flujo de pasajeros al abordaje y desembarque de pasajeros.

*Tabla 59 " Áreas de la Terminal 2"*

Edificio	Descripción	Cantidad
<b>Superficie cubierta total</b>		
<b>Superficie: Dedo Norte</b>	Llegadas N+0.00,MezanineN+3.75, Salidas N+7.50	17 337 m <sup>2</sup>
<b>Superficie: Dedo Sur</b>	Llegadas N+0.00,MezanineN+3.75, Salidas N+7.5, VIP N+11.25	13 329 m <sup>2</sup>
<b>Superficie: Edificio Terminal</b>	Llegadas N+0.00,MezanineN+3.75, Salidas N+7.5, VIP N+11.25	55 797 m <sup>2</sup>

De la tabla anterior se calcula una superficie total de 86 463 m<sup>2</sup>. Tomando la superficie total y dividiéndola entre los 22m<sup>2</sup> por pasajero, anteriormente citados, se tiene la capacidad para atender a 3 930 pasajeros en el edificio terminal, Dedo Norte y Dedo sur.

La IATA en su documento “Airport Development Reference Manual”, capítulo 3 “Passenger Terminal” establece estándares que relacionan el área necesaria por pasajero en la sala de última espera:

- Para un nivel de servicio excelente y condiciones de flujo libre se debería de contar con 2.7 m<sup>2</sup> por pasajero.
- Para un alto nivel de servicio y condiciones de flujo estable se debería contar con 2.3m<sup>2</sup> por pasajero.
- Para un buen nivel de servicio y condiciones de flujo estable debería de contar con 1.9m<sup>2</sup> por pasajero.

Para el caso de este análisis y tomando en cuenta que las posiciones de contacto para el A380 (55A y 57A) se encuentran en el Dedo Norte se calculó el área citada en la figura 90 para analizar si cumple con los estándares que establece IATA.



*Figura 90 "Superficie de la sala de última espera de la posición 54 a la 60"*

El área remarcada en verde de la figura 90 es de aproximadamente de 2 427 m<sup>2</sup>, la cual corresponde a la superficie de la sala de última espera para las posiciones 54, 55, 56, 57, 58, 59 y 60. Por lo tanto si se desea un nivel de servicio excelente y un flujo libre de pasajeros en esta sala se debe de atender como máximo 895 pasajeros a la vez, esto permitiría que los pasajeros que aborden al A380 (550 pasajeros máximo) puedan ser atendidos junto a los pasajeros que aborden otros dos aviones de tamaño mediano (150 pasajeros aproximadamente por cada avión). O bien, considerando que simultáneamente el A380 sea despachado con un promedio de 550 pasajeros junto con cuatro aviones de menor tamaño (150 pasajeros) entre las posiciones 54 y 60, la sala de última espera contará con 2.1m<sup>2</sup> por pasajero lo que le otorga un nivel entre el estándar bueno y alto que ofrece la IATA.

Por tal motivo se recomienda que: si el A380 fuera despachado en la posición 55A no se opere la posición 57A, y si el A380 fuera despachado en la posición 57A no se opere la posición 55A.

Sin embargo el estudio de movimiento y flujo de pasajeros amerita un análisis más profundo donde intervienen variables de tiempo de despacho de las distintas aeronaves que se operan en la terminal 2, horas de mayor afluencia, demanda de vuelos, temporada, etc.



## Capítulo V Análisis de resultados y recomendaciones

### 5.1 Análisis de los resultados del estudio realizado acerca de la infraestructura del AICM

#### 5.1.1 Pistas

##### **Peso máximo de despegue (MTOW)**

En la sección 4.4 “Corrección de pistas por elevación, temperatura y pendiente” se expuso que en el AICM no aplica un estudio de este tipo debido a que la corrección que se debe de hacer para la distancia de referencia de cualquier avión es mayor al 35%. Por tal motivo se optó por hacer un estudio especial que consistió en limitar el peso máximo de despegue en distintas condiciones ambientales. Los límites del peso máximo de despegue permisibles en el AICM serán de 481 950 Kg a 525 070 Kg. Sin embargo el peso máximo de despegue variará según la hora del día y la época del año en la que el avión sea despachado. Así mismo si el avión realiza un vuelo de largo alcance o un vuelo de conexión, el A380 tendrá un peso de despegue considerablemente menor que los planteados anteriormente.

##### **Peso máximo de aterrizaje (MLW)**

El peso máximo de aterrizaje del A380 especificado por el fabricante es de 395 000 Kg. En la sección 4.6.1 “Distancias requeridas para el aterrizaje del A380 en el AICM” se calculó una distancia de 2,934 m para que el A380 pueda aterrizar con un peso de 394 400 Kg. La pista 05R del AICM cuenta con una LDA de 3 530 m, la pista 23L cuenta con una LDA de 3 905 m, la pista 05L cuenta con una LDA de 3 478 m y la pista 23R cuenta con una LDA de 3 457 m; por lo cual se concluye que el A380 podrá aterrizar en el AICM con su peso máximo de aterrizaje establecido por el fabricante en cualquiera de las dos pistas con las que cuenta el aeropuerto, sin embargo se recomienda que sólo se utilice la pista 05R/23L para las operaciones del A380.

##### **Calles de salida rápida de la pista 05R/23L**

En la sección 4.7.3.1 “Calles de salida rápida del AICM” se determinó que: *“Las calles de rodaje que se unen a la pista 05R/23L no cumplen con los requerimientos para poder ser consideradas como calles de salida rápida, excepto el rodaje “A5” que tiene 30° de intersección con la pista 05R, el radio de la curva de enlace es de 538 m y 137 de superficie recta en la cual el avión puede detenerse”*. Suponiendo que el A380 aterrizara con un peso de 364 330 Kg o menos, el avión podría desalojar la pista 23L por la calle de salida rápida A5. Sin embargo no se recomienda que el A380 utilice dicha calle para desalojar la pista 23L.

Por otra parte, se recomienda que el desalojo de la pista 05R se efectúe por la calle de rodaje D y el desalojo de la pista 23L por las calles de rodaje A4, B3 y A1.

## **Resistencia de las pistas**

Considerando que el ACN del A380 tendría un valor máximo de 95 si fuera despachado con un peso máximo de despegue de 481 950 Kg a 525 070 Kg, y que la resistencia del pavimento de las pistas 05R/23L y 05L/23R es de 100/F/D/X/T, entonces se determina que el A380 puede efectuar operaciones normales en ambas pistas, sin embargo se recomienda que las operaciones regulares de dicha aeronave se efectúen en la pista 05R/23L.

## **Márgenes de las pistas**

En la sección 4.10.1 “*Márgenes de las pistas*” se establece que el ancho total de las pistas debería ser de 75 m. Actualmente las pistas del AICM cuentan con un ancho de 45 m, por lo tanto es necesario un ensanchamiento de éstas para que cumplan con los requisitos para la operación regular del A380. La pista 05R/23L requiere una superficie total de 43 551 m<sup>2</sup> de pavimento extra con una resistencia capaz de soportar el peso máximo de despegue del A380, y la pista 05L/23R requiere una superficie total de 45 742 m<sup>2</sup> de pavimento extra para ensanchar los márgenes a 75 m.

Se recomienda que para minimizar la inversión, sólo ensanchen los márgenes de la pista 05R/23L y que las operaciones regulares del A380 se efectúen sobre la misma. La pista 05R/23L ofrece la ventaja de tener una mayor longitud con respecto a la pista 05L/23R, además de ser la pista que cuenta con ILS CAT II y debido a su posición respecto a la Terminal 2 del AICM, el A380 ocuparía la zona de pistas por lapsos de tiempo más cortos.

En la sección 4.10.2 “*Márgenes de las pistas del AIG y del AIC*” se establece que el A380 puede realizar operaciones en pistas de 45 m de ancho con márgenes de 7.5 m a cada extremo de la pista, siempre y cuando la operación se haga en aeropuertos alternos o en operaciones esporádicas. Por tal motivo se recomienda que el A380 opere en la pista 05L/23R sólo en circunstancias que impidan que la operación se efectúe en la pista 05R/23L como pueden ser que la pista este inoperable por mantenimiento, inspección, porque esté contaminada, etc. No se recomiendan modificaciones a la pista 05L/23R, únicamente que se establezca como un procedimiento especial, si el A380 llegara a aterrizar sobre ésta, el desalojo de la pista 05L se haría por la calle de rodaje H y de la pista 23L el desalojo se efectuaría por la calle de rodaje B3.

## 5.1.2 Calles de rodaje

### Rutas de aterrizaje y despegue para el AICM

Las rutas para el aterrizaje y el despegue que se plantearon en la sección 4.9.2.1 “Análisis y comparación de las curvas de enlace de las calles de rodaje del AICM” se corrigieron debido a que algunas de las salidas rápidas planteadas no cumplen con el requisito para serlo, los radios de las curvaturas de enlace entre rodajes no cumplen con los requerimientos del avión y las superficies de enlace no cumplen con el ensanchamiento mínimo que establece el manual debido a que las distancias mínimas de separación de algún rodaje a la pista, con otro rodaje o a un objeto no están dentro de los parámetros mínimos de seguridad establecidos. Ya que ninguna calle de rodaje tiene 60 m de ancho, se plantean las rutas más eficientes donde la inversión sea la mínima posible. Por los motivos expuestos anteriormente se sugieren las siguientes rutas para la operación terrestre del A380 en las instalaciones del AICM.

#### Aterrizaje por pista 05R



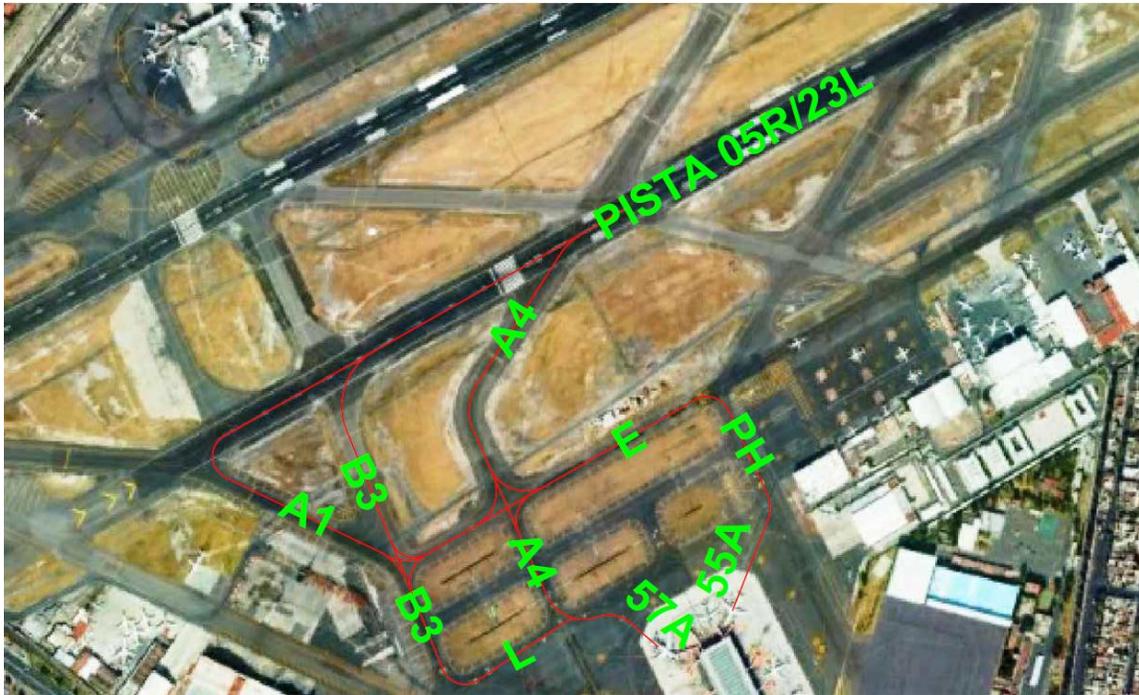
Figura 91 "Ruta para llegar a posición de toma de contacto efectuando un aterrizaje por la pista 05R"

En figura 91 se pueden observar las siguientes rutas:

- PISTA 05R→D→E→D→A5→PH→POS 55A
- PISTA 05R→D→E→D→A5→E→A4→POS 57<sup>a</sup>

A pesar de que se corrigió la geometría del patrón de giro de 180° de la plataforma para virajes, no se considera viable que el avión efectúe un viraje de 180° debido a que su permanencia en la pista será mayor y esto afectaría las operaciones de los vuelos que se aproximan al aeropuerto.

### Aterrizaje por pista 23L



*Figura 92 "Ruta para llegar a posición de toma de contacto efectuando un aterrizaje por la pista 23L"*

En figura 92 se pueden observar las siguientes rutas:

- PISTA 23L→A4→E→PH→POS 55A
- PISTA 23L→A4→POS 57A
- PISTA 23L→B3→E→PH→POS 55A
- PISTA 23L→B3→L→POS 57A
- PISTA 23L→A1→E→PH→POS 55A
- PISTA 23L→A1→B3→L→POS 57<sup>a</sup>

## Despegue por pista 05R



*Figura 93 "Ruta hacia el umbral de la pista 05R para efectuar un despegue saliendo de las posiciones 55A y 57A"*

En figura 93 se pueden observar las siguientes rutas:

- POS 55A →PH→E→B3→PISTA 05R
- POS 55A→PH→L→B3→PISTA 05R
- POS 57A→L→B3→PISTA 05R
- POS 55A →PH→E→A1→PISTA 05R
- POS 55A→PH→L→B3→A1→PISTA 05R
- POS 57A→L→B3→A1→PISTA 05R

## Despegue por pista 23L



*Figura 94 "Ruta hacia el umbral de la pista 23L para efectuar un despegue saliendo de las posiciones 55A y 57A"*

En la figura 94 se pueden observar las siguientes rutas:

- POS 55A→PH→A5→D→E→D→PISTA 23L
- POS 57A→L→PH→A5→D→E→D→PISTA 23L

### **Radios de viraje de los cambios de dirección entre calles de rodaje**

La mayoría de los radios de viraje en los cambios de dirección de las calles de rodaje que se plantearon para las rutas anteriormente citadas cumplen con los requerimientos del avión, sin embargo las calles cercanas a la terminal 2 del AICM no lo hacen, por lo tanto se propusieron algunos cambios a la mayoría de estas calles. Son un total de 15 radios de viraje modificados para que el A380 tenga la capacidad de generar cambios de dirección entre calles de rodajes.

## **Superficies de enlace**

Se modificaron las superficies de enlace que son estrictamente necesarias para el arribo del A380 a las posiciones de toma de contacto 55A y 57A desde los umbrales 05R, 23L y viceversa, además se modificaron las superficies de enlace de algunas calles de rodaje que agilizarían los movimientos en tierra cuando el A380 este rodando sobre dichas calles. Por lo tanto, se requeriría una superficie extra total de 7 878 m<sup>2</sup> de asfalto flexible de alta resistencia para las superficies de enlace que permitirían el arribo a las posiciones de toma de contacto 55A y 57A.

Se plantea que sólo se modifiquen las superficies de enlace que conectan a las calles de rodaje E-PH, L-PH, E-B3 (inferior y superior) y L-B3 para minimizar la inversión en pavimento. Estas modificaciones tendrían el inconveniente de que en un principio, el A380 solo podría desalojar la pista 23L por la calle de rodaje B3 y para poder arribar hacia el umbral 05R desde las posiciones 55A y 57A sólo se haría por la misma calle de rodaje. De lo anterior se concluye que se requiere inicialmente de una superficie extra de 4 643 m<sup>2</sup> para las superficies de enlace de algunas calles de rodaje que se conectan en la ruta planteada para que el A380 pueda efectuar operaciones en tierra.

## **Márgenes de las calles de rodaje**

Se generaron las menores rutas posibles para el desalojo del A380 de las pistas para el arribo a las posiciones de toma de contacto en Terminal 2 y viceversa debido a que los márgenes de todas las calles de rodaje no cumplen con los requerimientos del avión ya que la letra de clave de referencia del AICM es D y por consiguiente la mayoría de las calles de rodaje cuentan con un ancho total de 38 m. El ancho que se requiere para que el A380 pueda operar regularmente en un aeropuerto es de 60 m, es por esto que se generaron tan pocas rutas para el avión en tierra.

Considerando que para el desalojo de la pista 23L y para el arribo al umbral de la pista 05R solo se tenga una única ruta de desalojo de pista y arribo a esta, y que en un futuro se pudieran ensanchar los rodajes A1 y A4, entonces se tendría que cubrir una superficie de 65 857 m<sup>2</sup> con pavimento de una resistencia suficiente para soportar al A380 en el caso de que este se saliera de la calle de rodaje o para que pueda soportar al vehículo de salvamento y rescate más pesado.

### 5.1.3 Plataforma de la terminal 2 (T2)

En el capítulo 4 “*Desarrollo de la propuesta*” sección 4.11.1 “*Plataforma del AICM*” se establece que la plataforma de la Terminal 2 cuenta con dos posiciones de toma de contacto en la cual pueda operar el A380 para el embarque y desembarque del mismo.

En la sección 4.12 “*Análisis de la Terminal 2*” se demostró que cuando el A380 esté siendo despachado en alguna de las dos posiciones en las cuales puede operar, la otra posición no podrá estar siendo operada por algún avión igual o similar en dimensión. Por tal motivo se recomienda que cuando el A380 esté en la posición de toma de contacto 55A no se opere la posición 57A, sin embargo podrían operarse las posiciones 57 y 58 con aviones de corto y mediano alcance. Así mismo cuando el A380 se encuentre en la posición 57A no es recomendable que se opere la posición 55A, pero las posiciones 55 y 56 podrían ser ocupadas por aviones de corto y medio alcance.

#### **Resistencia de la plataforma de la terminal 2 (T2)**

La plataforma de la Terminal 2 del AICM está constituida por concreto hidráulico con un PCN de 120/R/C/X/T. El ACN calculado del A380 con el peso máximo de despegue para la Ciudad de México es de 79, por tal motivo no se recomiendan cambios en el pavimento con el que cuenta actualmente la plataforma de la Terminal 2.

## 5.2 Análisis de los resultados del estudio realizado acerca de la infraestructura del AIG

### 5.2.1 Pistas

#### **Peso máximo de despegue (MTOW)**

En la sección 4.4 “*Corrección de pistas por elevación, temperatura y pendiente*” se expuso que en el AIG no aplica un estudio de este tipo debido a que la corrección que se debe de hacer para la distancia de referencia de cualquier avión es mayor a 35%. Por tal motivo se optó por hacer un estudio especial que consistió en limitar el peso máximo de despegue en distintas condiciones ambientales. Los límites del peso máximo de despegue permisibles en el AIG serán de 514 000 Kg a 554 000 Kg. Sin embargo el peso máximo de despegue variará según la hora del día y la época del año en la que el avión sea despachado. Así mismo si el avión realiza un vuelo de largo alcance o un vuelo de conexión, el A380 tendrá un peso de despegue considerablemente menor. En el caso del aeropuerto de Guadalajara al tener la condición de alterno se considera que el peso de despegue normalmente será igual o similar al peso máximo de aterrizaje (MLW) más dos horas de combustible.

### **Peso máximo de aterrizaje (MLW)**

El peso máximo de aterrizaje del A380 especificado por el fabricante es de 395 000 Kg. En la sección 4.6.2 “Distancias requeridas para el aterrizaje del A380 en el AIG” se calculó una distancia de 2 730 m para que el A380 pueda aterrizar con un peso de 394 400 Kg. La pista 10 cuenta con una LDA de 4 000 m y la pista 28 al igual que la pista 10, cuenta con una LDA de 4 000 m, por lo cual se concluye que el A380 podrá aterrizar en el AIG con su peso máximo de aterrizaje establecido por el fabricante.

### **Calles de salida rápida de la pista 10/28**

En la sección 4.7.3.2 “Calles de salida rápida del AIG” se determinó que: *“El AIG tiene 3 calles de rodaje que conectan la pista en ángulo agudo y que cumplen con los requisitos para ser calles de salida rápida ya que las tres calles tienen 30° de intersección con respecto a la pista 10/28”*. Suponiendo que el A380 aterrizara con un peso de 364 330 Kg o menos, el avión no podría desalojar la pista 10/28 por alguna de las calles de salida rápida debido a que la ubicación de dichas calles de rodaje no permiten que el A380 llegue a la intersección entre éstas con la pista a una velocidad menor a 26 m/s.

Por los motivos anteriormente explicados se recomienda que el desalojo de la pista 10 se efectúe por la calle de rodaje “A”. El desalojo de la pista 28 se recomienda se efectúe por la misma calle de rodaje “A” pero ahora en la intersección ubicada en el umbral de la pista 10.

### **Resistencia de las pistas**

Considerando que el ACN del A380 tendría un valor máximo de 62 si fuera despachado con un peso máximo de despegue de 514 000 Kg a 554 000 Kg, y que la resistencia del pavimento de la pista 10/28 es de 82/F/B/W/T, entonces se determina que el A380 puede efectuar operaciones normales en el AIG.

### **Márgenes de las pistas**

En la sección 4.10.1.2 *“Márgenes de las pistas del AIG y del AIC”* se establece que el A380 puede realizar operaciones en pistas de 45 m de ancho con márgenes de 7.5 m a cada extremo de la pista o en pistas de 60 m de ancho sin márgenes siempre y cuando la operación se haga en aeropuertos alternos o en operaciones esporádicas.

Al ser un procedimiento especial la operación del A380 en el AIG se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El uso de la pista para un aterrizaje no requiere procedimientos especiales, al no suponer riesgos específicos. Es admisible la realización de una inspección previa de la pista.

- En el caso de los despegues, es preciso inspeccionar la pista previamente. Posterior al despegue debe realizarse una nueva inspección de pista con objeto de comprobar que no hay objetos que se hayan desplazado por efecto del chorro de los motores al interior de la pista o franja de seguridad.
- Adicionalmente, se sugiere que la operación de despegue se realice con potencia reducida del motor.

## 5.2.2 Calles de rodaje

### Rutas de aterrizaje y despegue para el AIG

**Aterrizaje por pista 10** (Figura 95)

- PISTA 10→A→A2→POS 14A

**Aterrizaje por pista 28** (Figura 95)

En figura 95 se pueden observar las siguientes rutas:

- PISTA 28→A→A2→POS 14A



*Figura 95 "Ruta para llegar a posición de toma de contacto 14A efectuando un aterrizaje por la pista 10 ó por la pista 28"*

**Despegue por pista 10** (Figura 96)

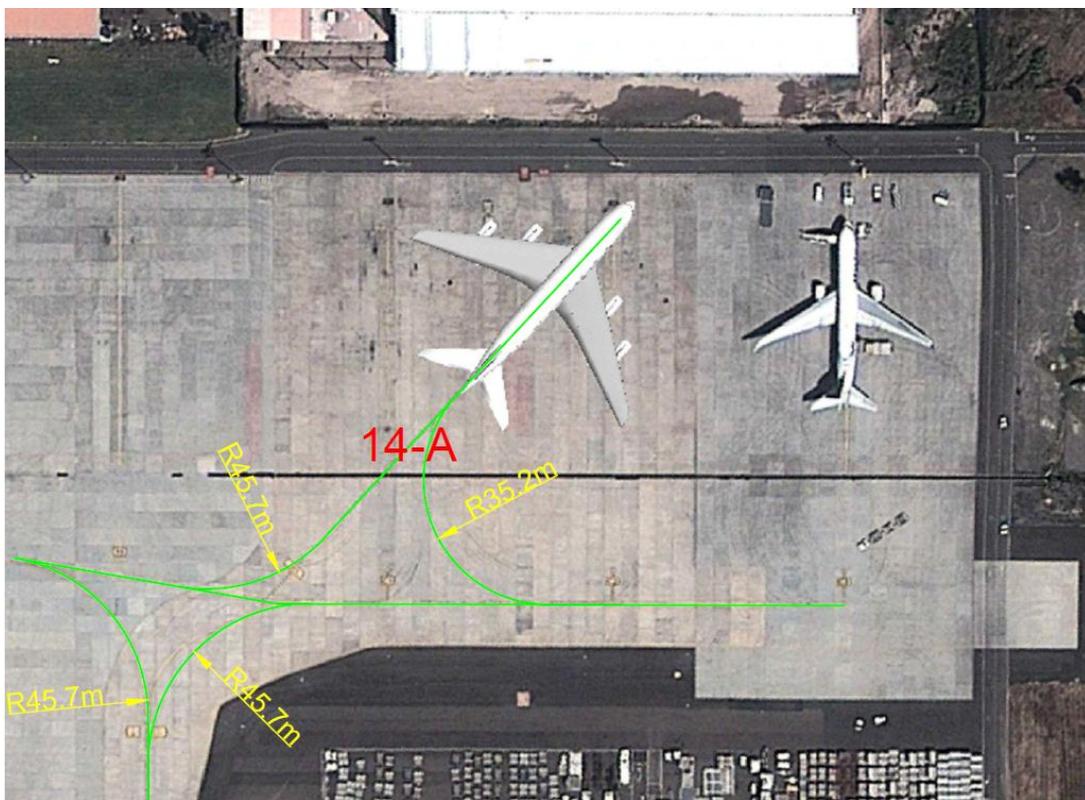
- POS 14A→A2→A→PISTA 10

**Despegue por pista 28** (figura 96)

- POS 14A→A2→A→PISTA 28



*Figura 96 "Ruta para arribar a los umbrales 10 y 28 desde la posición 14A"*



*Figura 97 " Señales de eje de calle de rodaje para procedimiento de salida de la posición 14-A"*

La figura 97 muestra el procedimiento de salida de la posición 14A que se plantea para el A380, se puede observar que se podría hacer de dos formas: 1) que el A380 inicie un viraje de reversa a la derecha (hacia la posición 15) siendo remolcado para que posteriormente con propio impulso genere un viraje hacia la calle de rodaje "A2". Ésta es la salida recomendada ya que no afecta el libre tránsito de otras posiciones. 2) Que el A380 inicie un viraje de reversa a la izquierda siendo remolcado hacia las posiciones "C", para que

posteriormente con propio impulso genere un viraje hacia la calle de rodaje “A2”. Cabe mencionar que durante este procedimiento, no deberá haber otra aeronave estacionada en las posiciones “C”

### **Superficies de enlace**

Se modificaron las superficies de enlace que son estrictamente necesarias para el arribo del A380 a la posición de toma de contacto 14A desde los umbrales 10 y 28 y viceversa. Por lo tanto, se requeriría una superficie extra total de 4 079 m<sup>2</sup> de pavimento de alta resistencia.

### **Márgenes de las calles de rodaje**

Para minimizar la inversión que se requiere en el AIG se recomienda que no se hagan cambios a los anchos de las calles de rodaje con los que cuenta actualmente, los cuales al ser un aeropuerto con letra clave de referencia E son de 45 m. Debido a que no se cumplirá con los anchos de 60 m que se establecen para la operación regular del A380, entonces se hacen las siguientes recomendaciones:

- Cabe la posibilidad de que se limite la potencia de los motores exteriores, e incluso se apaguen durante el rodaje del A380.
- En el caso del despegue, se precisaría arrancar los motores exteriores cerca o sobre la pista, lo cual supone un tiempo de ocupación de pista un poco mas largo, lo que podría llegar a afectar el flujo de tráfico.
- En caso de rodar con solo dos motores, es necesario prestar especial atención en las curvas cerradas donde se utiliza empuje asimétrico.
- Previo al inicio de la operación, aquellas áreas que se consideren susceptibles al efecto del chorro serán acondicionadas. Una vez iniciada la operación, si se llegaran a detectar otras zonas, se tomarán medidas para minimizar el efecto.

### **5.2.3 Plataforma de la terminal de carga del AIG**

En el capítulo 4 “*Desarrollo de la propuesta*” sección 4.11.2 “*Plataforma del AIG*” expresa que: “*Se eligió la posición 14A en el área de carga por ser la posición de contacto más grande y cercana al edificio terminal. Esta posición por su ubicación, no contará con pasillos telescópicos para el embarque y/o desembarque de pasajeros*”.

Cuando el A380 necesite desalojar la posición 14A, se recomienda que lo haga con el empenaje en dirección hacia la posición 15 debido a que no afectará a alguna aeronave que esté estacionada. El único inconveniente que presenta dicho procedimiento es que el ángulo de giro del tren de nariz será el máximo para que el A380 pueda desalojar la posición 14A.

### **Resistencia de la plataforma de carga del AIG**

La plataforma de carga del AIG está constituida por pavimento con un PCN de 47/R/A/W/T, el ACN calculado del A380 con el peso máximo de despegue para la Ciudad de Guadalajara es de 55. Como se puede observar, el ACN es mayor al PCN por lo que no cumple con los requerimientos del avión. Aunque por otra parte el peso de despegue que se maneja para un aeropuerto alternativo es el peso máximo de aterrizaje más dos horas de combustible, en consecuencia la carga que aplicaría la aeronave sobre la plataforma sería mucho menor a la carga que tendría con el peso máximo de despegue. Por tal motivo no se recomiendan cambios al pavimento que constituye la plataforma de carga del AIG siempre y cuando no se tenga considerado despachar al A380 con su peso máximo de despegue desde esta localidad.

## **5.3 Análisis de los resultados del estudio realizado acerca de la infraestructura del AIC**

### **5.3.1 Pistas**

#### **Peso máximo de despegue (MTOW)**

En la sección 4.4 “Corrección de pistas por elevación, temperatura y pendiente” se expuso que en el AIC se requiere una pista con una longitud de 3 892 m para que el A380 pueda operar con el peso máximo de despegue que brinda el fabricante y debido a que el AIC sólo cuenta con una pista de 3 500 m se optó por hacer un estudio especial que consistió en limitar el peso máximo de despegue en distintas condiciones ambientales. Los límites del peso máximo de despegue permisibles en el AIC serán 563 800 Kg a 597 000 Kg. Sin embargo el peso máximo de despegue variará según la hora del día y la época del año en la que el avión sea despachado. Así mismo también influye si el avión realizará un vuelo de largo alcance o un vuelo de conexión, si este fuera el caso, el aeropuerto de Cancún al tener la condición de alternativo se considera que el peso de despegue normalmente será igual o similar al peso máximo de aterrizaje (MLW) más dos horas de combustible.

### **Peso máximo de aterrizaje (MLW)**

El peso máximo de aterrizaje del A380 especificado por el fabricante es de 395 000 Kg. En la sección 4.6.3 “Distancias requeridas para el aterrizaje del A380 en el AIC” se calculó una distancia de 2 483 m para que el A380 pueda aterrizar con un peso de 394 400 Kg. La pista 12R cuenta con una LDA de 3 500 m y la pista 30L, al igual que la pista 12R, cuenta con una LDA de 3 500 m, por lo cual se concluye que el A380 podrá aterrizar en el AIC con su peso máximo de aterrizaje establecido por el fabricante.

### **Calles de salida rápida de la pista 12R/30L**

En la sección 4.7.3.3 “Calles de salida rápida del AIC” se determinó que: *“El AIC tiene 3 calles de rodaje que conectan la pista en ángulo agudo y que cumplen con los requisitos para ser calles de salida rápida ya que las tres calles tienen 30° de intersección con respecto a la pista 12R/30L”*. Suponiendo que el A380 aterrizará con un peso de 364,330 Kg o menos, el avión no podría desalojar la pista 12R/30L por alguna de las calles de salida rápida debido a que la ubicación de dichas calles de rodaje no permiten que el A380 llegue a la intersección entre éstas con la pista a una velocidad menor a 26 m/s.

Por los motivos anteriormente explicados se recomienda que el desalojo de la pista 12R se efectúe por la calle de rodaje A y el desalojo de la pista 30L por la misma calle de rodaje pero en la intersección que está ubicada en el umbral 12R.

### **Resistencia de las pistas**

Considerando que el ACN del A380 tendría un valor máximo de 63 si fuera despachado con un peso máximo de despegue de 563 800 Kg a 597 000 Kg, y que la resistencia del pavimento de la pista 12R/30L es de 78/F/D/X/T, entonces se determina que el A380 puede efectuar operaciones normales en el AIC.

### **Márgenes de las pistas**

En la sección 4.10.1.2 *“Márgenes de las pistas del AIG y del AIC”* se establece que el A380 puede realizar operaciones en pistas de 45 m de ancho con márgenes de 7.5 m a cada extremo de la pista o en pistas con 60 m de ancho sin márgenes siempre y cuando la operación se haga en aeropuertos alternos o en operaciones esporádicas.

Al ser un procedimiento especial la operación del A380 en el AIC se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El uso de la pista para un aterrizaje no requiere procedimientos especiales, al no suponer riesgos específicos. Es admisible la realización previa de una inspección de pista.

- En el caso de los despegues, es preciso inspeccionar la pista previamente. Posterior al despegue debe realizarse una nueva inspección de pista con objeto de comprobar que no hay objetos que se hayan desplazado por efecto del chorro de los motores al interior de la pista o franja de seguridad.
- Adicionalmente, se sugiere que la operación de despegue se realice con potencia reducida de motor.

### 5.3.2 Calles de rodaje

#### Rutas de aterrizaje y despegue en el AIC

##### Aterrizaje por pista 12R

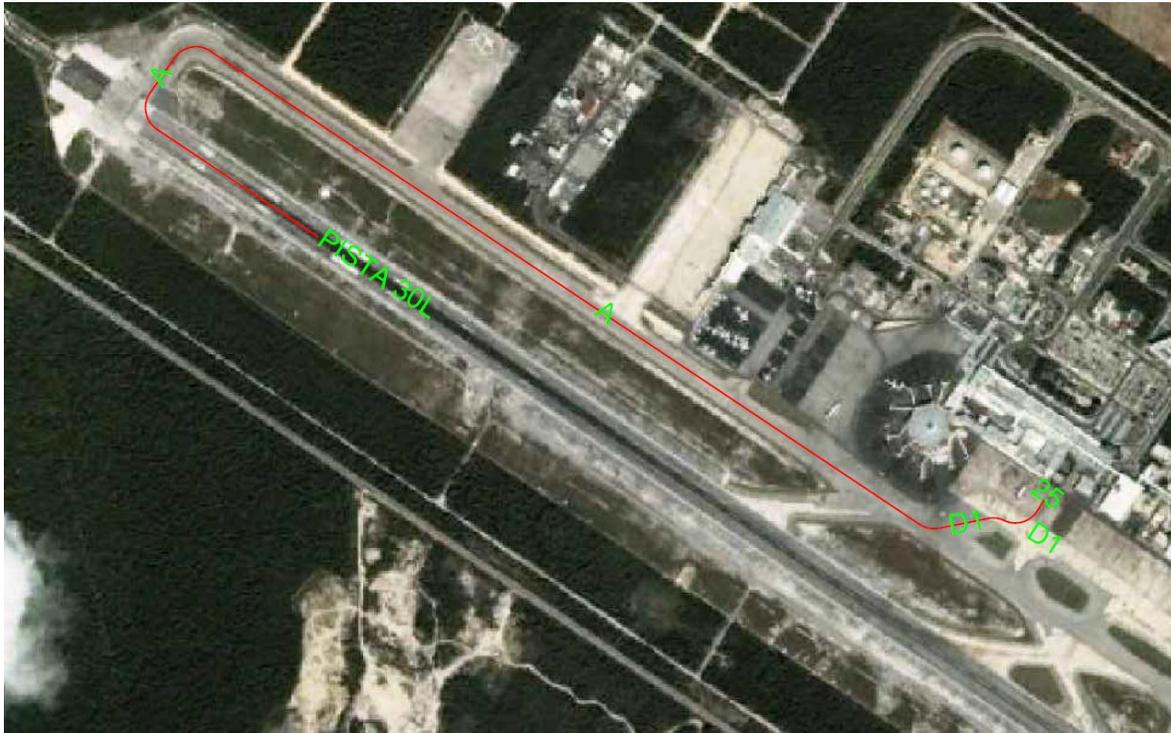


*Figura 98 "Ruta de arribo a la posición 25 desde el umbral 30L efectuando un aterrizaje por la pista 12R"*

En la figura 98 se puede observar la siguiente ruta:

- PISTA 12R→A→A→C1→POS 25

## Aterrizaje por pista 30L



*Figura 99 "Ruta de arribo a la posición 25 desde el umbral 12R efectuando un aterrizaje por la pista 30L"*

En la figura 99 se puede observar la siguiente ruta:

- PISTA 30L→A→A→D1→D1→POS25

## Despegue por pista 12R



*Figura 100 "Ruta para arribar al umbral 12R desde la posición 25"*

En la figura 100 se puede observar la siguiente ruta:

- POS 25→D1→D1→A→A →PISTA 12R

## Despegue por pista 30L



*Figura 101 "Ruta para arribar al umbral 30L desde la posición 25"*

En la figura 101 se puede observar la siguiente ruta:

- POS 25→D1→C1→A→PISTA 30L

### Superficies de enlace

Se modificaron las superficies de enlace que son estrictamente necesarias para el arribo del A380 a la posición de toma de contacto 25 desde los umbrales 12R y 30L, y viceversa. Por lo tanto, se requeriría una superficie extra total de 400 m<sup>2</sup> de pavimento de alta resistencia.

## Márgenes de las calles de rodaje

Para minimizar la inversión que se requiere en el AIC se recomienda que no se hagan cambios a los anchos de las calles de rodaje con los que cuenta actualmente, los cuales al ser un aeropuerto con letra clave de referencia E son de 45 m. Debido a que no se cumplirá con los anchos de 60 m que se establecen para la operación regular del A380, entonces se hacen las siguientes recomendaciones:

- Cabe la posibilidad de que se limite la potencia de los motores exteriores, e incluso se apaguen durante el rodaje del A380.
- En el caso del despegue, se precisaría arrancar los motores exteriores cerca o sobre la pista, lo cual supone un tiempo de ocupación de pista un poco mas largo, lo que podría llegar a afectar el flujo de tráfico.
- En caso de rodar con solo dos motores, es preciso prestar especial atención en las curvas cerradas, dónde se utiliza empuje asimétrico.
- Previo al inicio de la operación, aquellas áreas que se consideren susceptibles al efecto del chorro serán acondicionadas. Una vez iniciada la operación, si se llegaran a detectar otras zonas, se tomarán medidas para minimizar el efecto.

### 5.3.3 Plataforma de la terminal 2 del AIC

En el capítulo 4 *“Desarrollo de la propuesta”* sección 4.11.3 *“Plataforma del AIC”* establece que: *“El AIC no cuenta con una posición que cumpla con los márgenes que requiere el A380, se propone que se utilice la posición 25 que está ubicada en la terminal 2 (T2) que es la que presenta menos inconvenientes para la operación del avión en tierra”*. Los inconvenientes que se tendrían en la operación del A380 en el AIC serían:

- Cuando la aeronave este en la posición 25, no se podrán efectuar operaciones en el rodaje D1 entre la posición 24 y la calle de rodaje C1.
- No se podrá operar la posición 24.
- La posición 26 solo podrá ser ocupada por aeronaves con una envergadura menor a 50 m cuando el A380 se encuentre en la posición 25.
- Cuando el A380 requiera utilizar la pista 30L para efectuar el despegue, no debería de haber alguna aeronave estacionada en la posición 23 y 24.
- Cuando el A380 requiera despegar por la pista 12R, no debería de haber un avión estacionado en la posición 26 sin importar la magnitud de su envergadura.

La ubicación del A380 en la posición 25 sería solo un procedimiento de emergencia por lo cual no se propone modificación a los márgenes ya establecidos sino solo la notificación de un procedimiento especial.

Por otra parte la resistencia del pavimento requerida para que el A380 pueda operar en la plataforma de la Terminal 2 (T2) con su peso máximo de despegue es de un PCN con un 12% de resistencia mayor que con el que cuenta actualmente la plataforma. Sin embargo no será necesario adecuar el PCN a tal magnitud debido a que el avión no será despachado para salir con el peso máximo de despegue. El peso de despegue que algunas compañías manejan para los aviones de largo alcance que han sido enviados a aeropuertos alternos y que tienen que regresar al aeropuerto de destino es igual al peso máximo de aterrizaje más dos horas de combustible.

La posición 25 no cuenta con pasillos telescópicos y tampoco con salas móviles por tal motivo el desembarque de pasajeros deberá ser en plataforma.

La terminal 2 (T2) es donde se desarrollan la mayoría de las operaciones internacionales regulares en el AIC, así que cuenta con servicios de aduana para agilizar el flujo de pasajeros en plataforma y en la terminal.

## Conclusiones

### **Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM)**

A partir del análisis y de los resultados obtenidos en este estudio, tomando como referencia la hipótesis que se planteó para este trabajo que establece: *“Si la infraestructura aeroportuaria mexicana tomando como base al AICM y como aeropuertos alternos al AIG y al AIC cumple con los requisitos de operación del A380, entonces sería posible generar rutas desde/ hacia México con esta aeronave”*, se concluye que la infraestructura con la que cuenta el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México actualmente no cumple con los requisitos del A380 para poder generar operaciones regularmente desde y hacia este aeropuerto.

Sin embargo se plantearon algunas modificaciones a la infraestructura actual para que el A380 pueda operar normalmente en el AICM, las modificaciones mencionadas podrían tener un costo elevado pero previendo que las operaciones aéreas se duplicarán en los próximos 20 años, que la flota de aviones con los que cuentan las aerolíneas se duplicará en aproximadamente el mismo tiempo; que los fabricantes apuestan por crear aeronaves cada vez mas grandes con la intención de poder transportar una mayor cantidad de pasajeros y carga con la menor cantidad de operaciones; y que el AICM al ser un aeropuerto con alta saturación de operaciones no podrá tener un crecimiento para poder albergar una mayor cantidad de operaciones en un futuro debido a que lo limita el espacio con el que cuenta actualmente. Entonces, la opción aparente es poder albergar dentro de sus instalaciones a aeronaves más grandes en comparación a las que actualmente operan en el aeropuerto.

A pesar de que el AICM no cuenta con la infraestructura suficiente para poder albergar operaciones regulares del A380, sí podría albergar operaciones esporádicas siempre y cuando se establezcan procedimientos especiales como se plantearon para los aeropuertos de Guadalajara y Cancún, que por su condición de aeropuertos alternos, los requisitos para albergar operaciones de este tipo (esporádicas) son menos restrictivas que para aeropuertos que operen regularmente al A380.

Por último, este estudio da la pauta para otros más, que si se hiciera un esfuerzo por hacer que la infraestructura del AICM cumpla con los requisitos mínimos para la operación del A380, entonces cabe la posibilidad de un estudio de factibilidad económica para el aeropuerto y las aerolíneas que cuenten en su flota con este avión, un análisis de rendimiento para determinar la viabilidad de operar este avión y no aeronaves de similar tamaño. O bien, como se planteó en el capítulo 4 “Desarrollo de la propuesta” sección 4.12 “Análisis de la terminal 2”, un estudio de tiempos y movimientos en el edificio terminal cuando se esté despachando al A380.

## **Aeropuerto Internacional de Guadalajara**

Para cumplir con los requisitos de recepción del A380, el Aeropuerto Internacional de Guadalajara, por ser uno de los más importantes de México, es un buen candidato para fungir como aeropuerto alterno. Su larga pista y sus instalaciones recién remodeladas lo hacen adecuado para cubrir alguna eventualidad que surja de la operación del A380 hacia la Cd. de México.

Realizando modificaciones al rodaje “A” y “A2” es posible convertir al AIG en un aeropuerto capaz de recibir a este gran avión, lo cual debe realizarse en el menor tiempo posible, ya que requeriría el cierre temporal de los rodajes “A” y “A2”. Si bien el precio requerido para realizar dichas modificaciones probablemente es elevado, puede considerarse una inversión segura si se toma en cuenta que realizar estos cambios podría brindar la oportunidad de que nuevas aerolíneas de todo el mundo consideren a México un destino para operar sus aeronaves A380.

El principal reto es adaptar el Aeropuerto de la Ciudad de México a las necesidades del A380. Con las modificaciones hechas a los aeropuertos de Guadalajara y Cancún, México cumple con el requisito legal de contar con aeropuertos alternos en rutas generadas hacia nuestro país. Habiendo logrado esto, México se convertiría en uno de los primeros países latinoamericanos en poder alojarlo, lo cual nos deja un mejor papel en el panorama internacional y puede ser considerado un acierto más del importante crecimiento de la industria aeronáutica en los últimos años en nuestro país.

Estas adaptaciones en el futuro podrían propiciar que se modifique nuevamente el aeropuerto para recibir al A380 en forma regular o bien para alguna otra aeronave de dimensiones similares, convirtiéndolo en un aeropuerto más versátil y permitiendo adecuarlo con mayor facilidad a los nuevos modelos que ofrece la industria aeronáutica a nivel mundial.

## **Aeropuerto Internacional de Cancún (AIC)**

Después de concluir el estudio se pueden deducir diferentes aspectos relacionados a la operación del A380 en el Aeropuerto Internacional de Cancún.

En cuanto a las limitaciones del peso máximo de despegue el aeropuerto de Cancún presenta un amplio potencial debido a que cuenta con una pista de longitud aceptable y sus condiciones de elevación permiten al avión despegar con el mayor rango de peso de los aeropuertos estudiados (lo cual representa una mayor carga de paga).

Referente a las condiciones geométricas del aeropuerto, también se presentan favorables, aclarando que el estudio del Aeropuerto de Cancún se tomo solo como aeropuerto alterno y

que se estudiaron las rutas que representaran la menor inversión, las modificaciones que se tendrían que hacer al aeropuerto en cuanto al área a modificar es relativamente baja.

Uno de los puntos más críticos es el análisis de la plataforma, el aeropuerto no cuenta con una posición específica que cumpla con los requisitos de separación establecidos, pero para la operación esporádica se podrían establecer procedimientos especiales que permitan reducir el mínimo el riesgo de algún incidente o accidente aunque estos puedan alterar la operación normal del aeropuerto.

Como conclusión final se puede establecer que los aeropuertos analizados fueron diseñados conforme avanzaban los requerimientos y sin la previsión de que existirían aviones de las dimensiones y requerimientos del A-380 sin embargo en este trabajo se plantean los requerimientos técnicos mínimos para que la operación sea segura; la factibilidad financiera requiere de un estudio mas profundo.



## Referencias

- AACG. Airbus A380 Impact of A380 jet blast on Runways. Junio 2006
- AACG. Airbus A380 Operations al Alternate Airports. Versión 2 Borrador. Noviembre 2004.
- AC. Airbus A380 Airplane Characteristics for Airport Planning. Noviembre 2011
- AI/LE-I 823.0365/01. Airbus A380 Airport compatibility. Julio 2001
- Breve historia del AICM. Recuperado de <http://www.aicm.com.mx/acercadelaicm/Archivos/BREVEHISTORIA2011.pdf>
- Datos del Aeropuerto Internacional de Cancún. Recuperado de <http://www.asur.com.mx/asur/espanol/aeropuertos/cancun/links.asp>
- Familia de Airbus. Recuperado de <http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a380family/>
- Historia del Aeropuerto Internacional de Guadalajara. Recuperador de <http://aeropuertosgap.com.mx/aeropuertos/guadalajara/informacion-de-vuelos-guadalajara.html>
- JEPPESEN. Terminal Procedure CANCUN MEXICO. Septiembre 2010
- JEPPESEN. Terminal Procedure GUADALAJARA MEXICO. Septiembre 2010
- JEPPESEN. Terminal Procedure MEXICO CITY MEXICO. Febrero 2011
- Los Angeles times. Recuperado de [http://articles.latimes.com/1995-07-10/business/fi-22333\\_1\\_jumbo-jet](http://articles.latimes.com/1995-07-10/business/fi-22333_1_jumbo-jet)
- Norris, et al. Airbus A380: Superjumbo of the 21st Century. Zenith Press, 2005.
- OACI. Anexo 14. Volumen I Diseño y operaciones de aeródromos. Cuarta edición Julio 2004.
- OACI. Circular on New Larger Aeroplane Operations on Existing Aerodromes. Cir. 305 – An/177, Junio 2004.
- OACI. Manual de Diseño de Aeródromo. Parte I. Pistas.Doc. 9157. Tercera edición 2006
- OACI. Manual de Diseño de Aeródromo. Parte II. Calles de rodaje, plataforma y apartaderos de espera. Doc. 9157. Tercera edición 2006

OACI. Manual de Diseño de Aeródromo. Parte III. Pavimentos.Doc. 9157. Segunda edición 1983

SCT-DGAC-SENEAM. AIP, Publicación de información aeronáutica parte 3. 2009.

Todas las imágenes de satélite fueron capturadas de Google Earth

## Anexo 1 “Gráficas de limitación al peso de despegue”

### Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México

#### Pista 05R (derecha)

TORA: 3 985 m

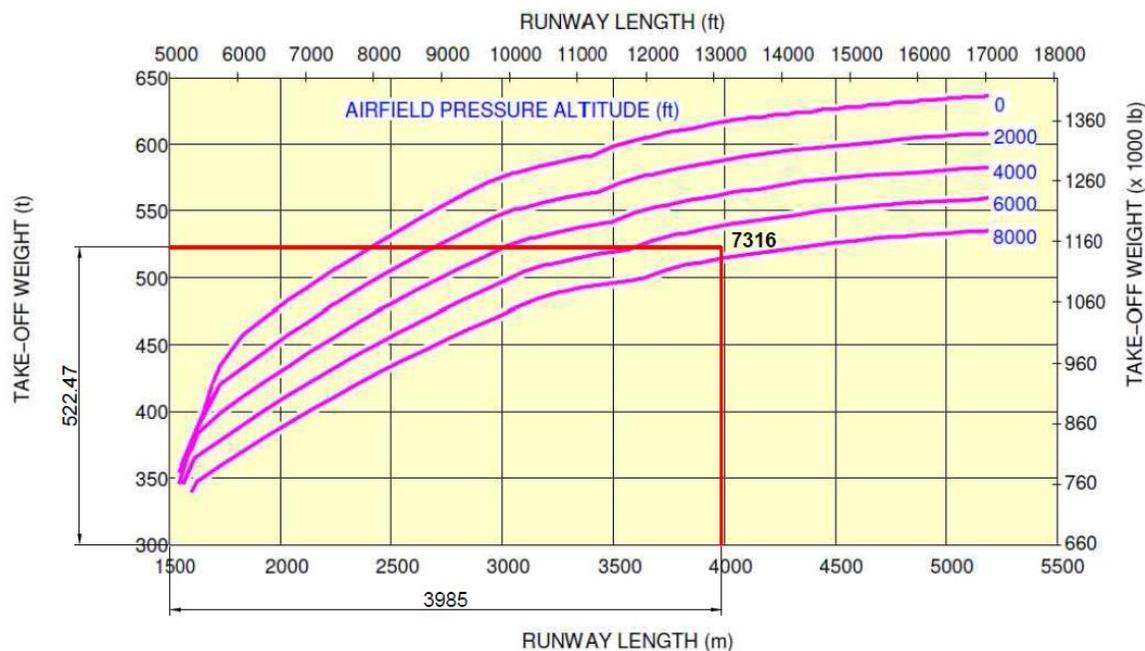


Figura 01 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05R), condiciones ISA estándar (0.49°C de referencia) con motores GP 7200"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 522.47 toneladas (1 150 814.8 Lb).

## Pista 05R (Derecha)

TORA: 3 985 m

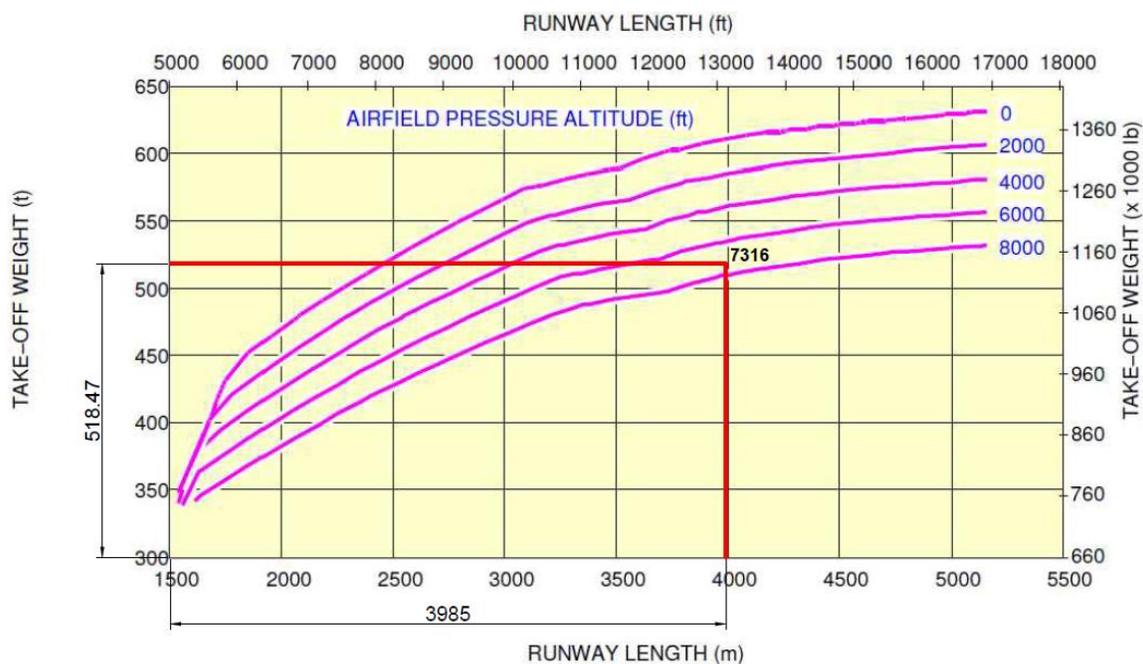


Figura 0102 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05R), condiciones ISA +15 (15.49°C de referencia) con motores TRENT 900"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 518.47 toneladas (1 142 004.4 Lb).

## Pista 05R (Derecha)

TORA: 3 985 m

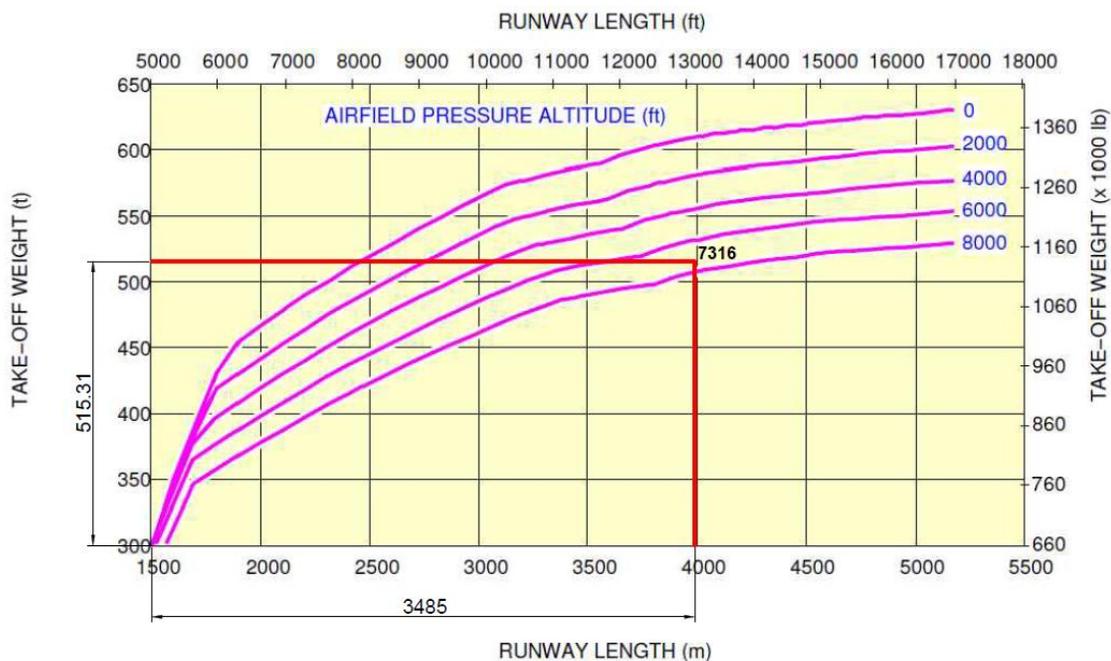


Figura 0103 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05R), condiciones ISA +15 (15.49°C de referencia) con motores GP 7200"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 515.31 toneladas (1 135 044.05 Lb).

## Corrección de altitud por temperatura de referencia del AICM

Elevación: 7 316 ft (2 230 m)

Temperatura de referencia: 26° C

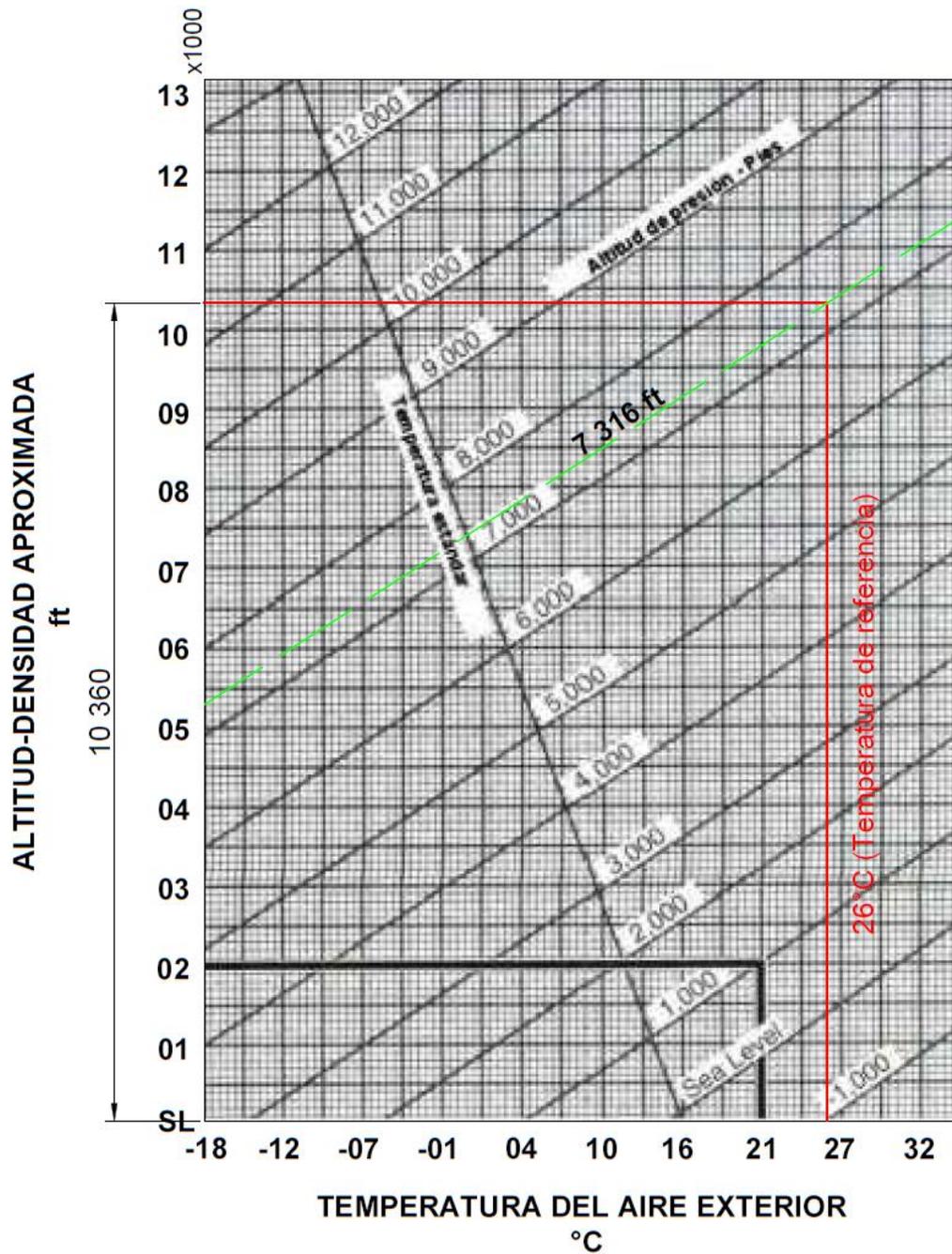


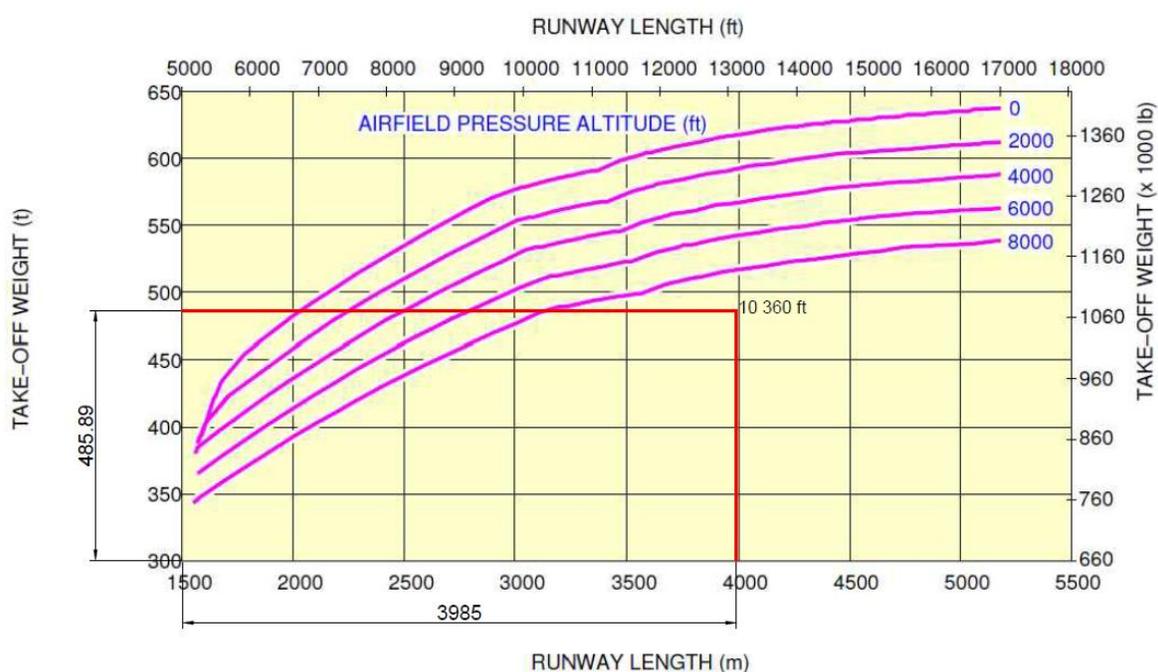
Figura 104 "Corrección de altitud por temperatura de referencia del AICM"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene una altitud densidad de 10 360 ft (3 158 m).

## Pista 05R (Derecha)

**TORA: 3 985 m**

Tomando en cuenta la corrección de altitud por temperatura de referencia (altitud densidad de 10 360 ft = 3 158 m), se calcula el peso máximo de despegue con condiciones ISA estándar.



*Figura 105 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05R), condiciones locales (26°C de referencia) con motores TRENT 900"*

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 485.89 toneladas (1 070 242.2 Lb).

## Pista 05R (Derecha)

TORA: 3 985 m

Altitud densidad: 10 360 ft (3 158 m)

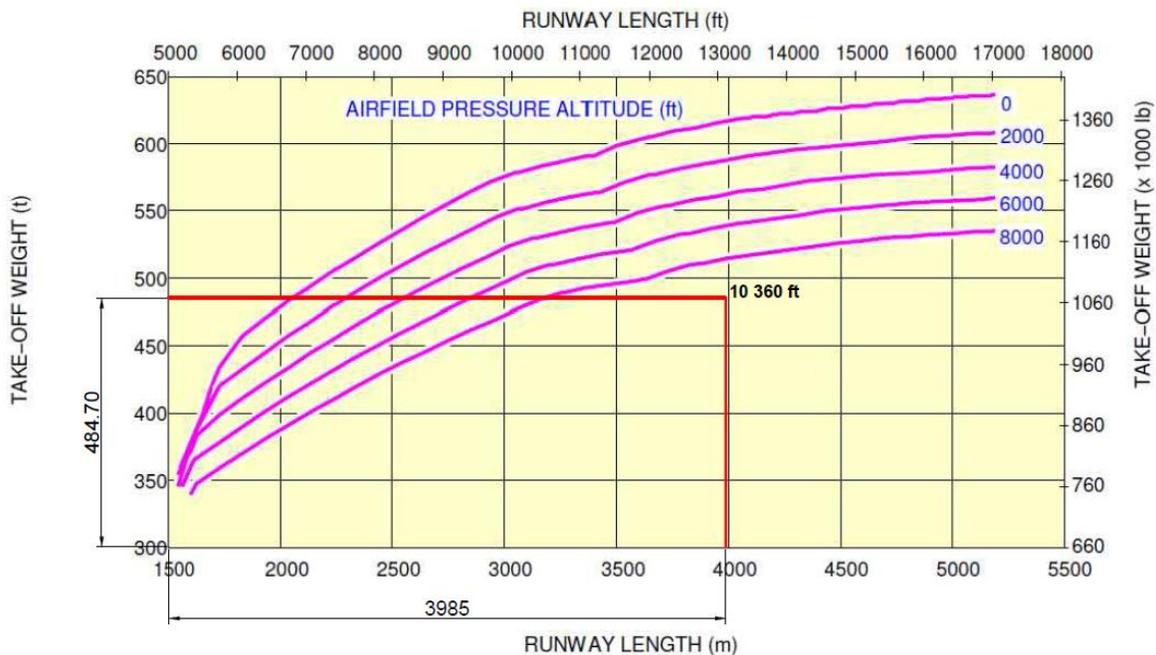


Figura 106 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05R), condiciones locales (26°C de referencia) con motores GP 7200"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 484.70 toneladas (1 067 621.1 Lb).

## Pista 23L (Izquierda)

TORA: 3 905 m

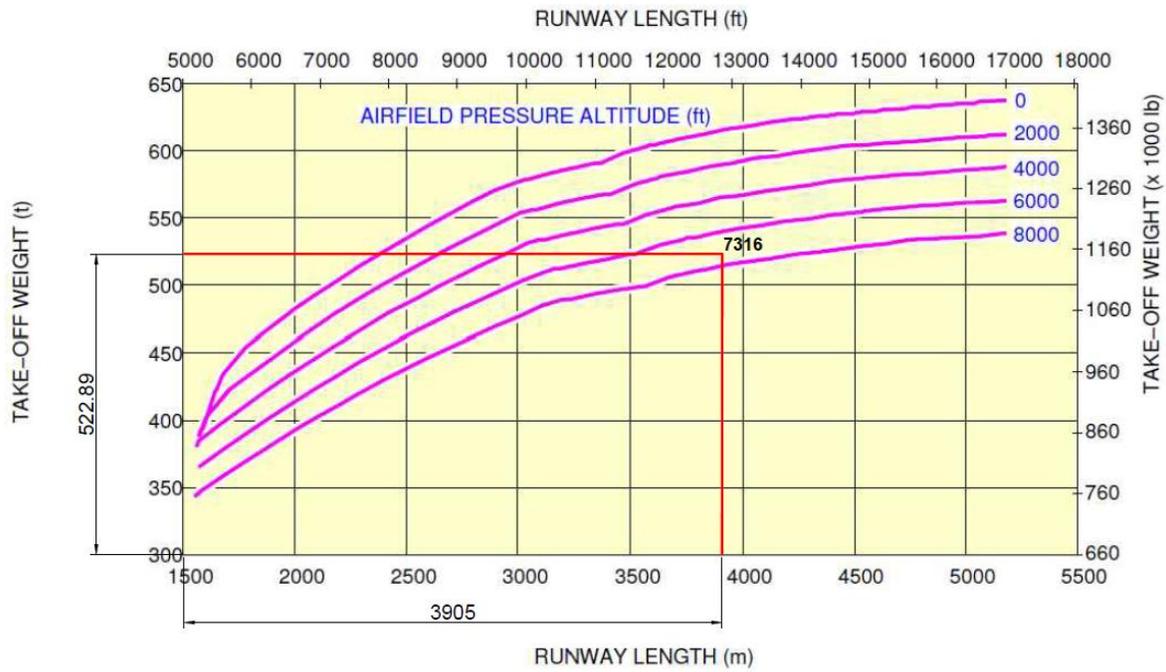


Figura 107 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05L), condiciones ISA estándar (0.49°C de referencia) con motores TRENT 900"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 522.89 toneladas (1 151 740.0 Lb).

## Pista 23L (Izquierda)

TORA: 3 905 m

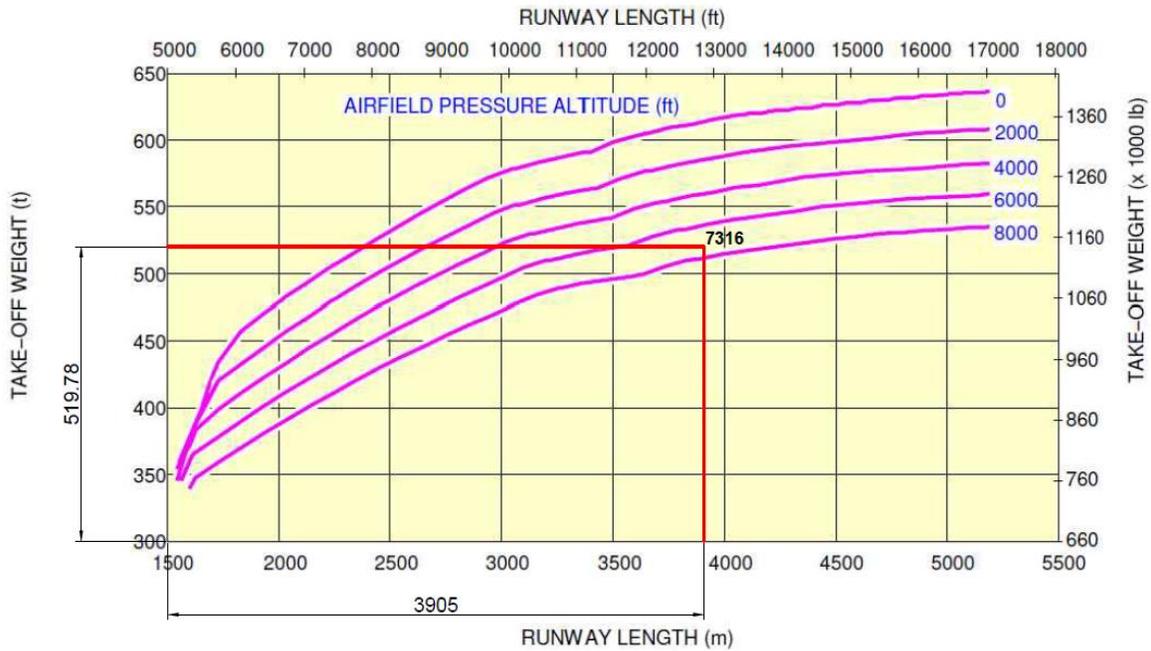


Figura 108 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05L), condiciones ISA estándar (0.49°C de referencia) con motores GP 7200"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 519.78 toneladas (1 144 889.8 Lb).

## Pista 23L (Izquierda)

TORA: 3 905 m

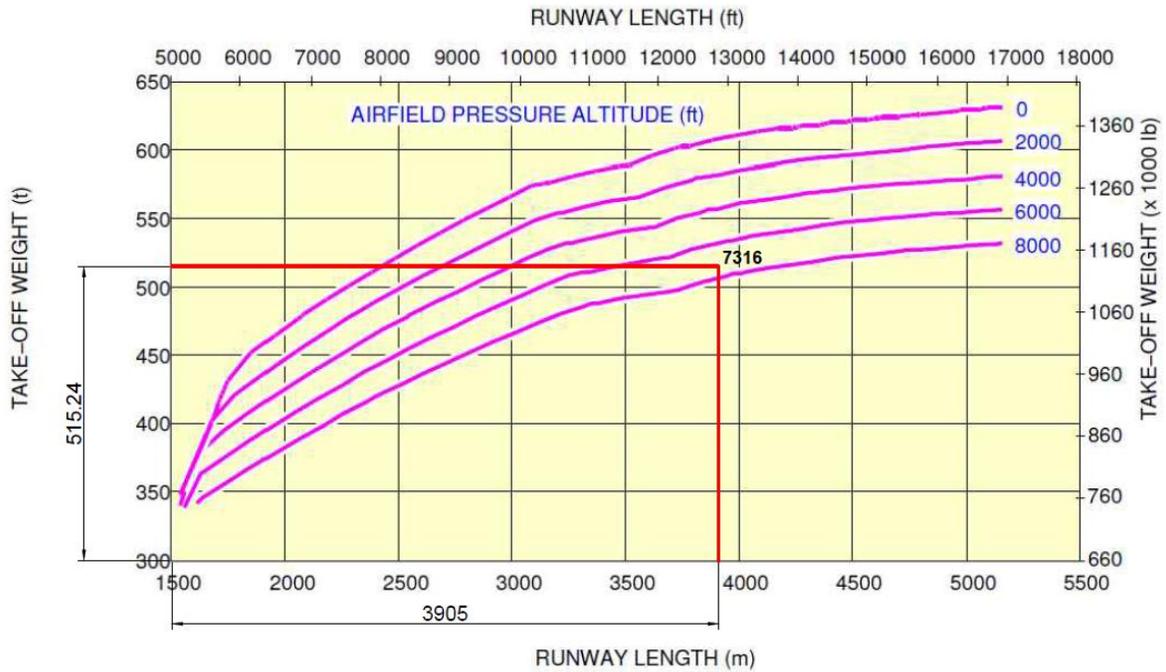


Figura 109 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05L), condiciones ISA +15 (15.49°C de referencia) con motores TRENT 900"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 515.24 toneladas (1 134 889.8 Lb).

## Pista 23L (Izquierda)

TORA: 3 905 m

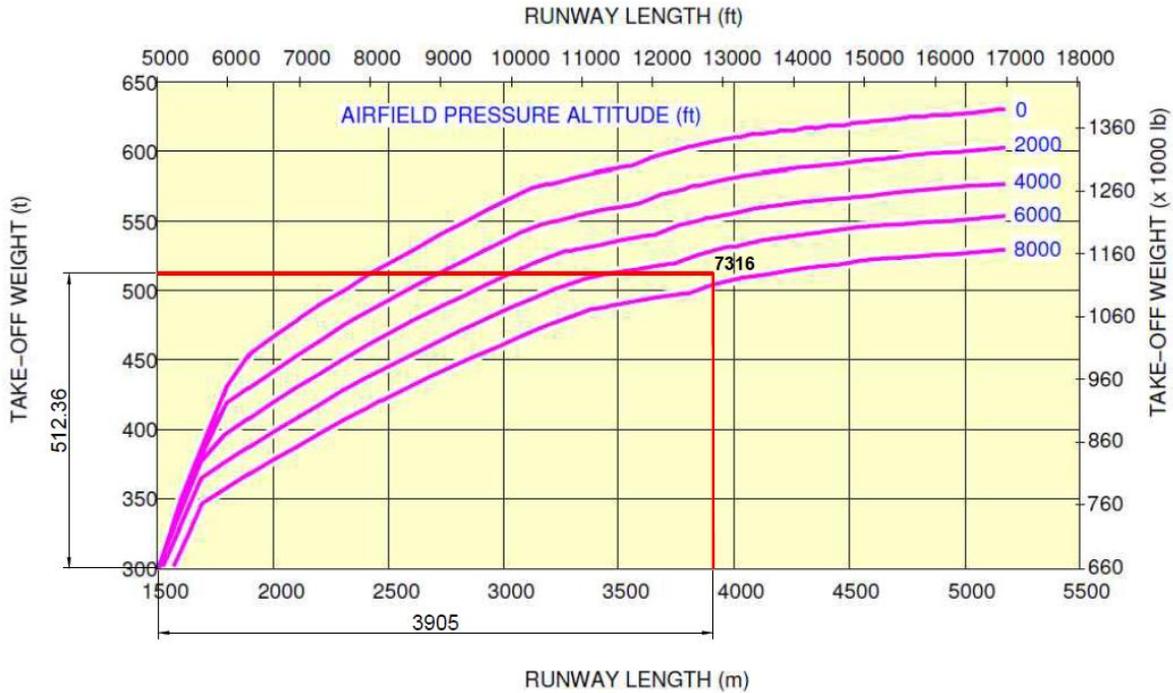


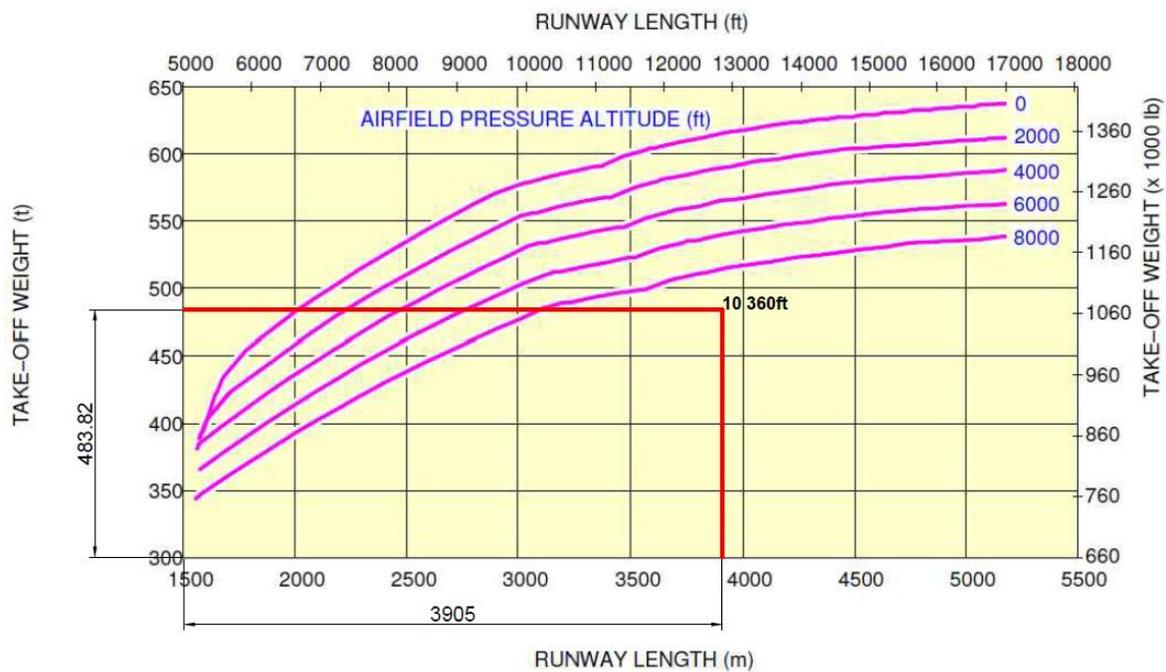
Figura 110 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05L), condiciones ISA +15 (15.49°C de referencia) con motores GP 7200"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 512.36 toneladas (1 128 546.3 Lb).

## Pista 23L (Izquierda)

**TORA: 3 905 m**

Tomando en cuenta la corrección de altitud por temperatura de referencia (altitud densidad de 10 360 ft = 3 158 m), se calcula el peso máximo de despegue con condiciones ISA estándar.



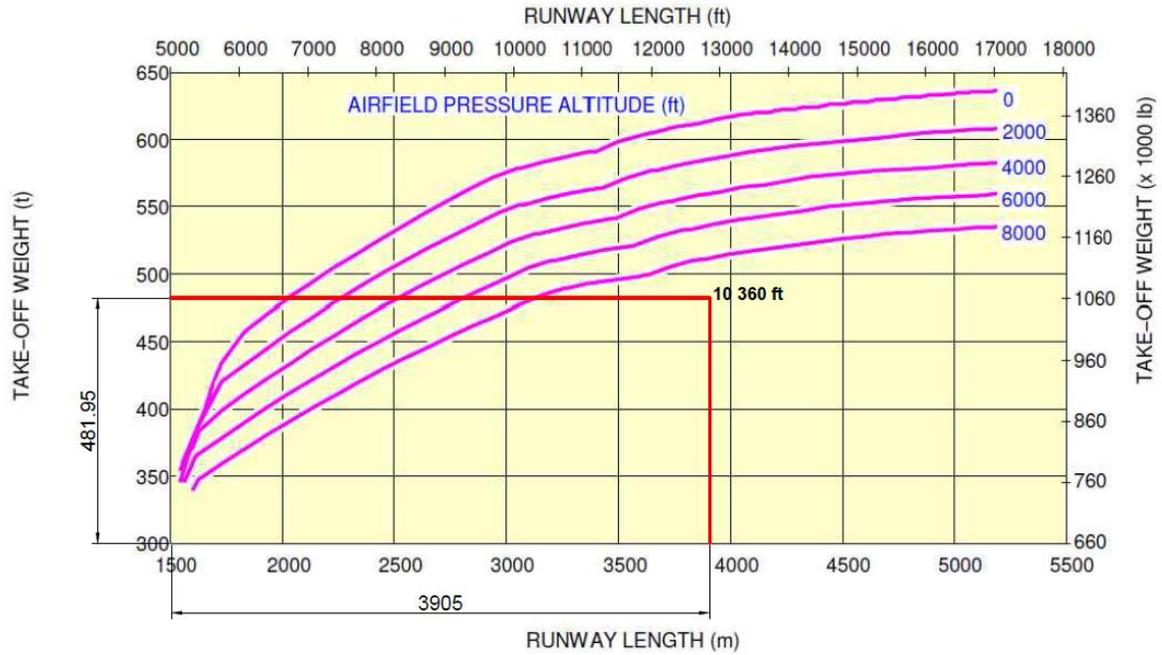
*Figura 111 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05L), condiciones locales (26°C de referencia) con motores TRENT 900"*

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 483.82 toneladas (1 065 682.8 Lb).

## Pista 23L (Izquierda)

**TORA: 3 905 m**

**Altitud densidad: 10 360 ft (3 158 m)**



*Figura 112 "Limitación del peso máximo de despegue en el AICM (pista 05L), condiciones locales (26°C de referencia) con motores GP 7200"*

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 481.95 toneladas (1 061 563.9 Lb).

# Aeropuerto Internacional de Guadalajara

## Pista 10/28

TORA: 4 000 m

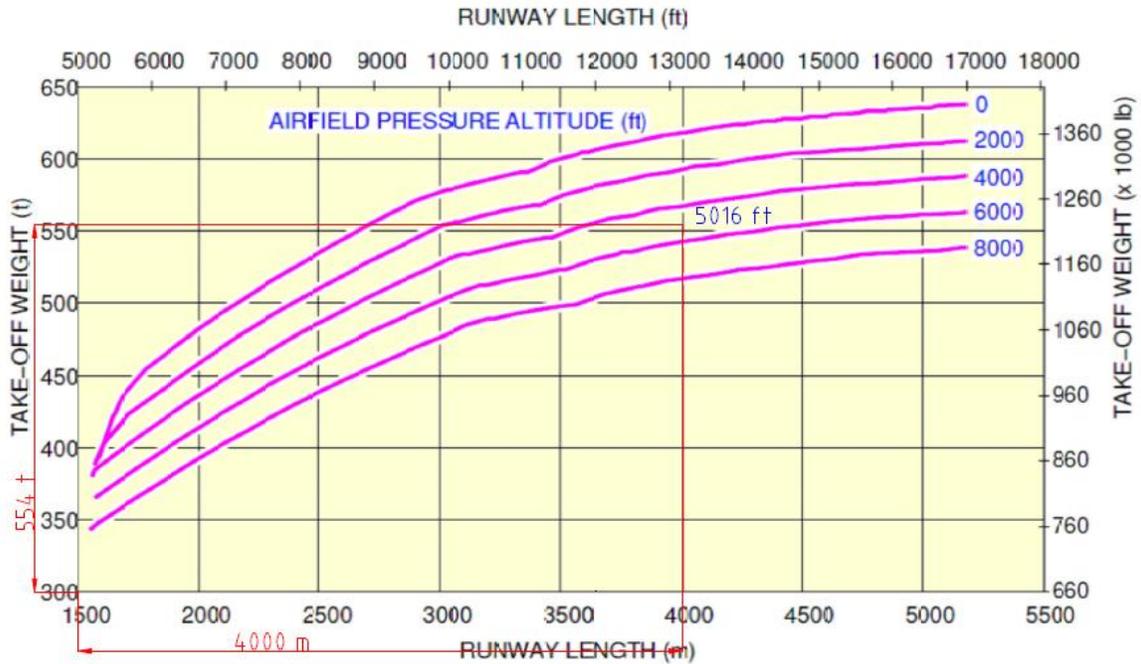


Figura 113 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIG (pista 10/28), condiciones ISA estándar (5.2°C de referencia) con motores TRENT 900"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 554 toneladas (1 221 360.93 Lb).

## Pista 10/28

TORA: 4 000 m

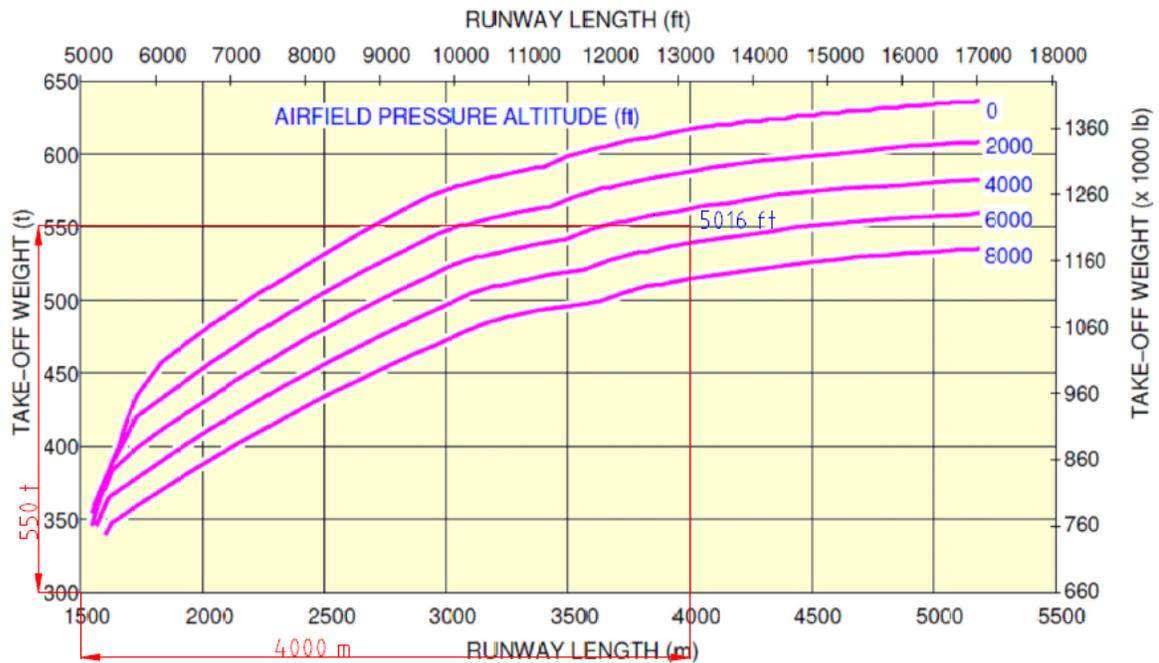


Figura 114 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIG (pista 10/28), condiciones ISA estándar (5.2°C de referencia) con motores GP 7200"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 550 toneladas (1 212 542.44 Lb).

## Pista 10/28

TORA: 4 000 m

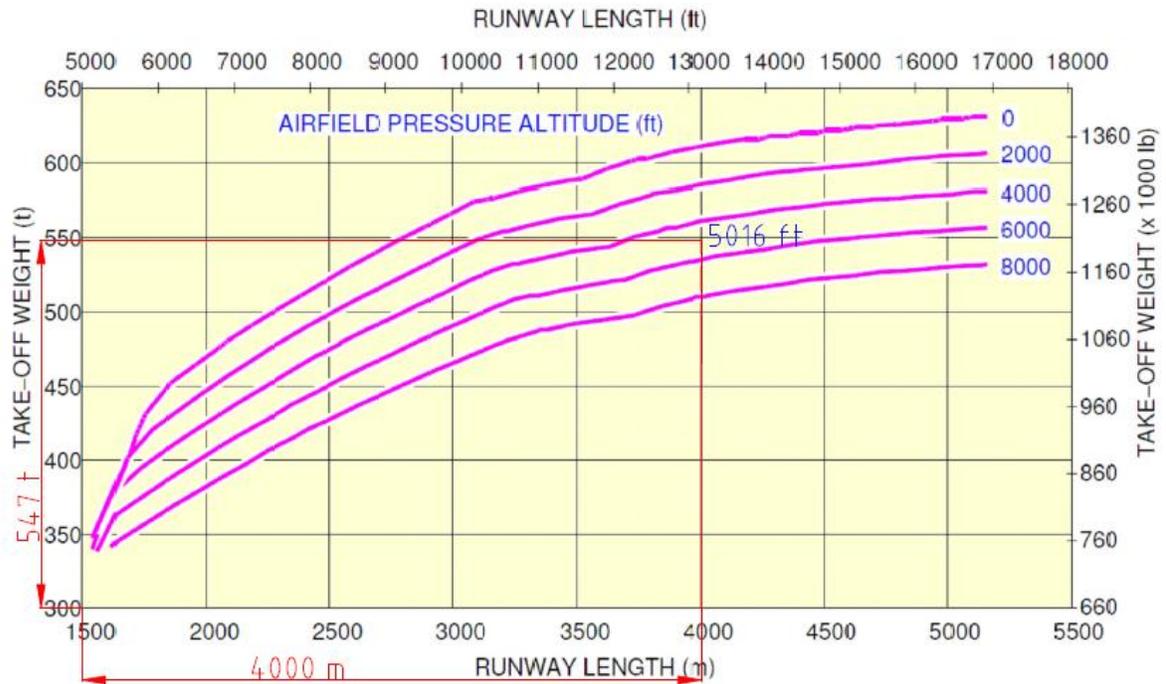


Figura 115 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIG (pista 10/28), condiciones ISA +15 (20.2°C de referencia) con motores TRENT 900"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 547 toneladas (1 205 928.57 Lb).

## Pista 10/28

TORA: 4 000 m

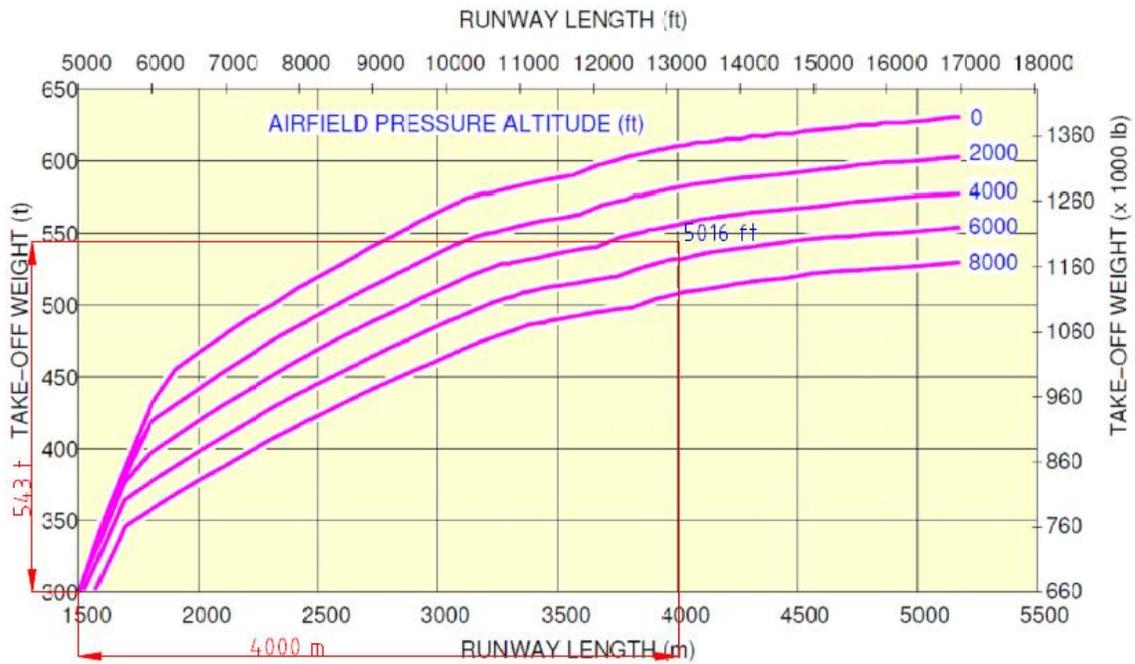


Figura 116 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIG (pista 10/28), condiciones ISA +15 (20.2°C de referencia) con motores GP 7200"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 543 toneladas (1 197 110 Lb).

### Corrección de altitud por temperatura de referencia del AIG

Altitud: 5016 ft (1528.87 m)

Temperatura de referencia: 31° C

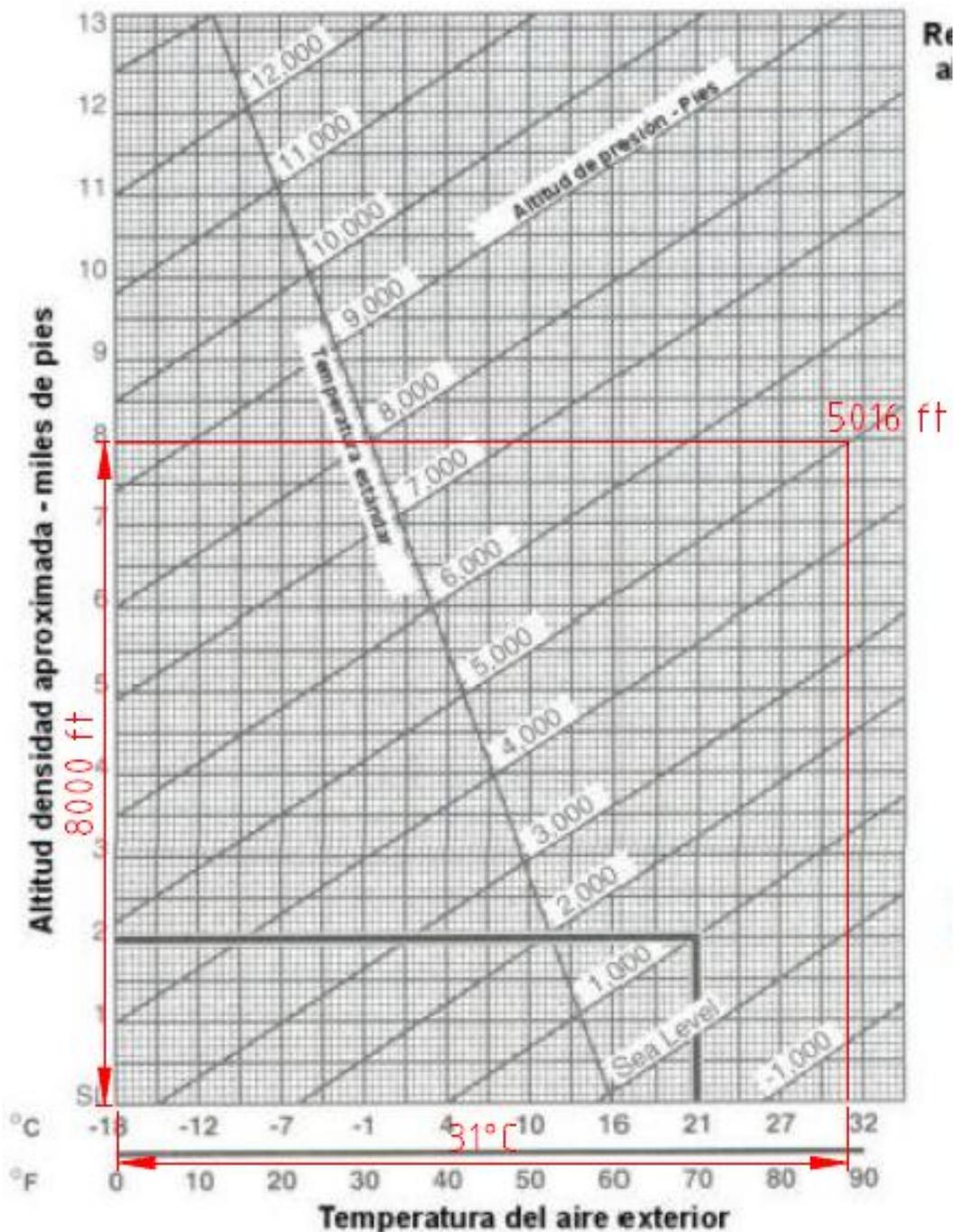


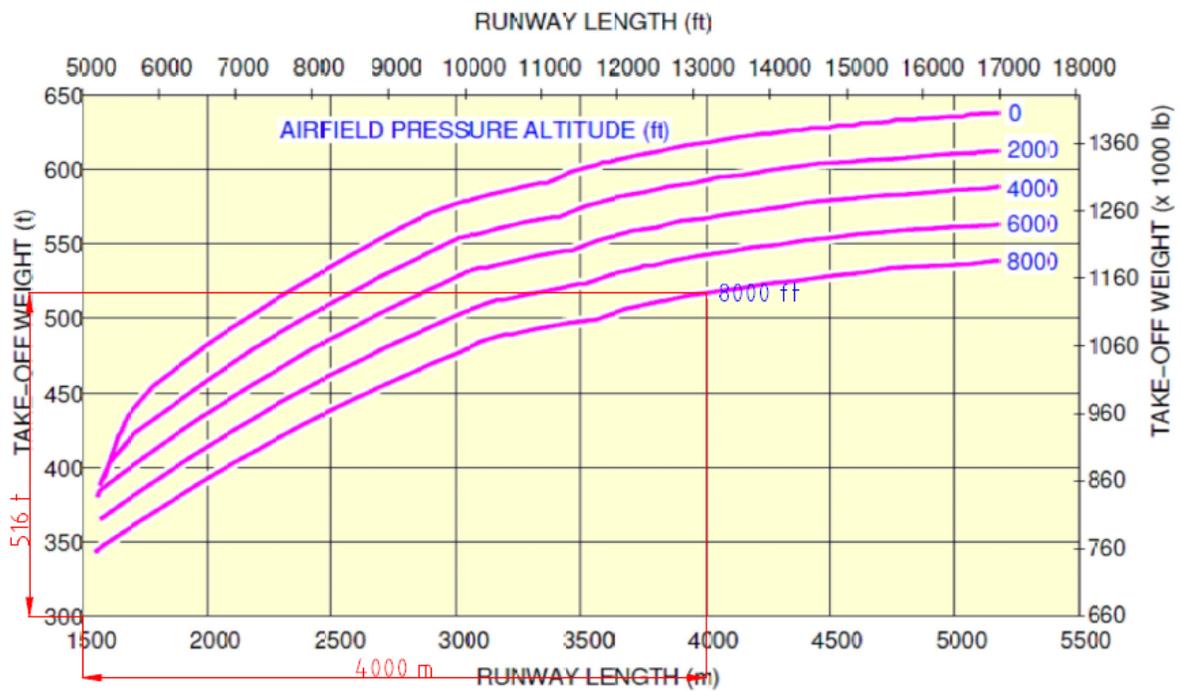
Figura 117 "Corrección de altitud por temperatura de referencia del AIG"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene una altitud densidad de 8000 ft (2 438.4 m).

## Pista 10/28

**TORA: 4 000 m**

Tomando en cuenta la corrección de altitud por temperatura de referencia (altitud densidad de 8 000 ft = 2 438.4 m), se calcula el peso máximo de despegue con condiciones ISA estándar.



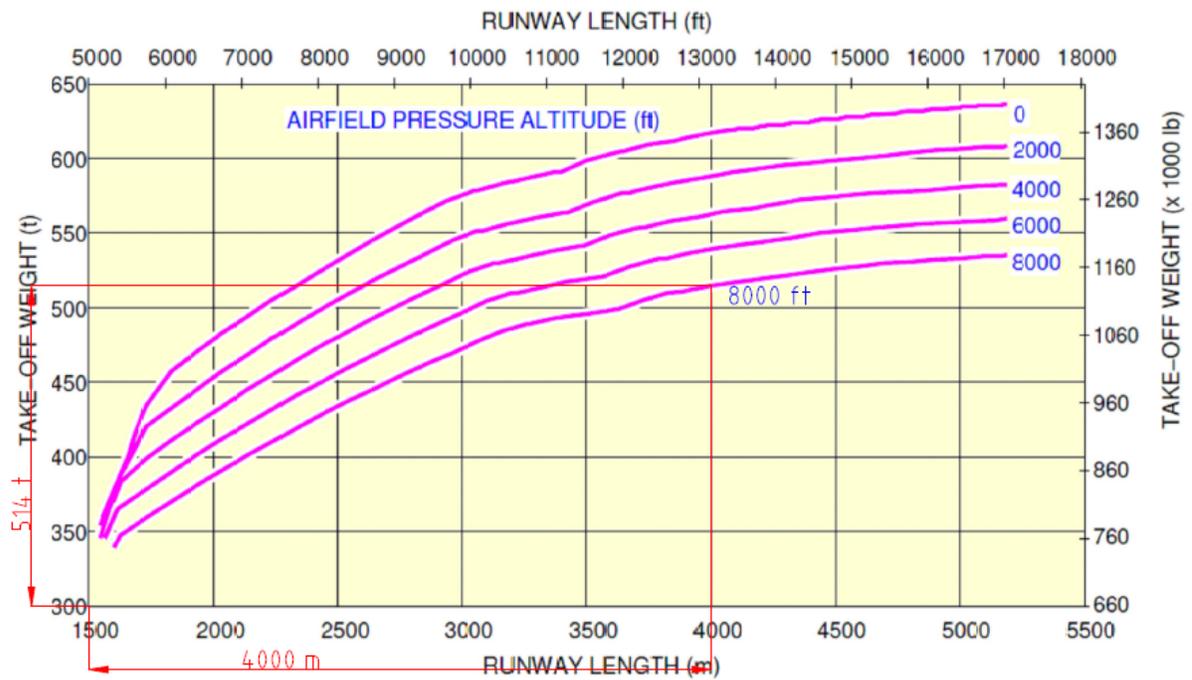
*Figura 118 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIG (pista 10/28), condiciones locales (31°C de referencia) con motores TRENT 900"*

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 516 toneladas (1 137 585.27 Lb).

## Pista 10/28

**TORA: 4 000 m**

**Altitud densidad: 8000ft (2438.4 m)**



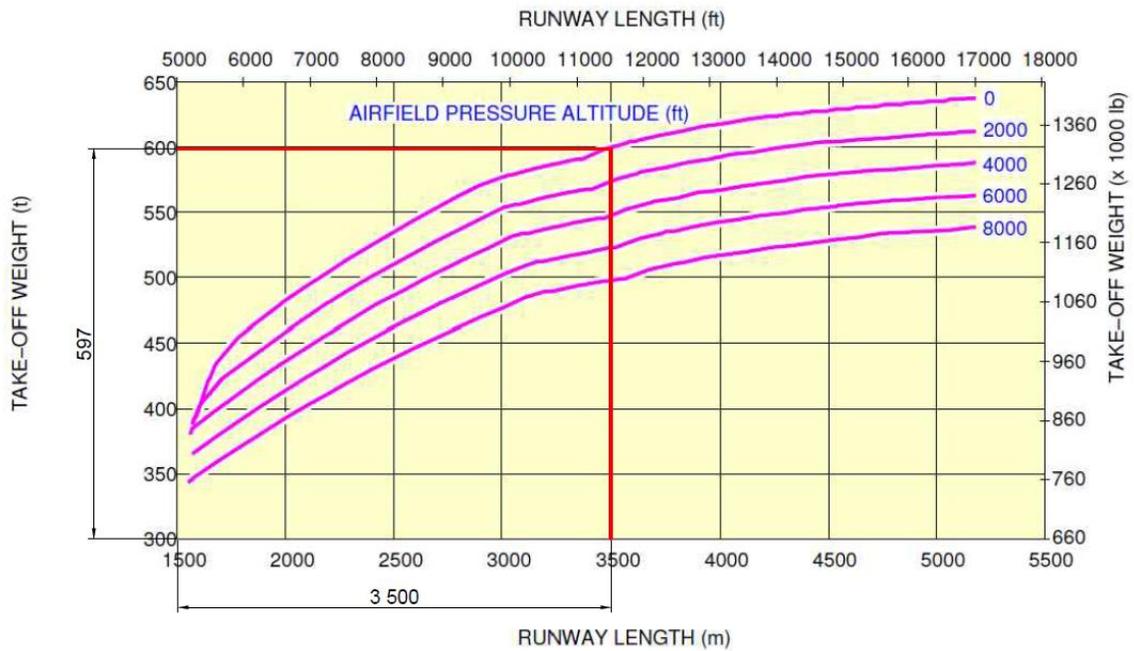
*Figura 119 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIG (pista 10/28), condiciones locales (31°C de referencia) con motores GP 7200"*

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 514 toneladas (1 133 176.02 Lb).

# Aeropuerto Internacional de Cancún

## Pista 12R/30L

**TORA: 3 500 m**



*Figura 120 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIC (pista 12R/30L), condiciones ISA estándar (15°C de referencia) con motores TRENT 900"*

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 597 toneladas (1 314 997 Lb).

## Pista 12R/30L

TORA: 3 500 m

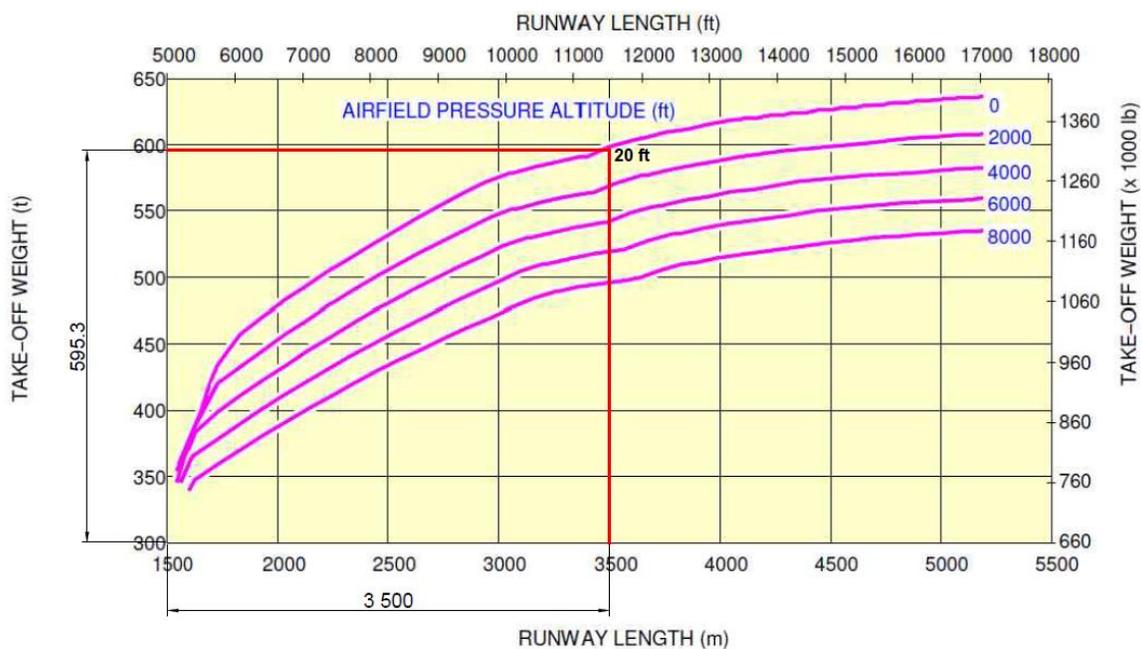
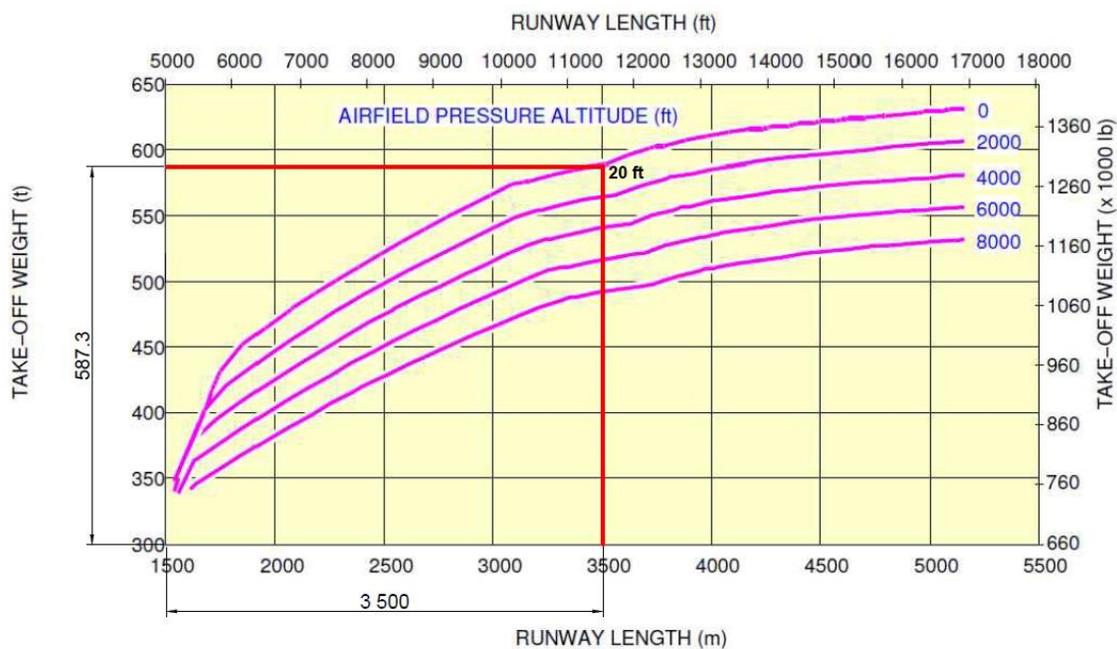


Figura 121 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIC (pista 12R/30L), condiciones ISA estándar (15°C de referencia) con motores GP 7200"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 595.3 toneladas (1 311 233 Lb).

## Pista 12R/30L

**TORA: 3 500 m**

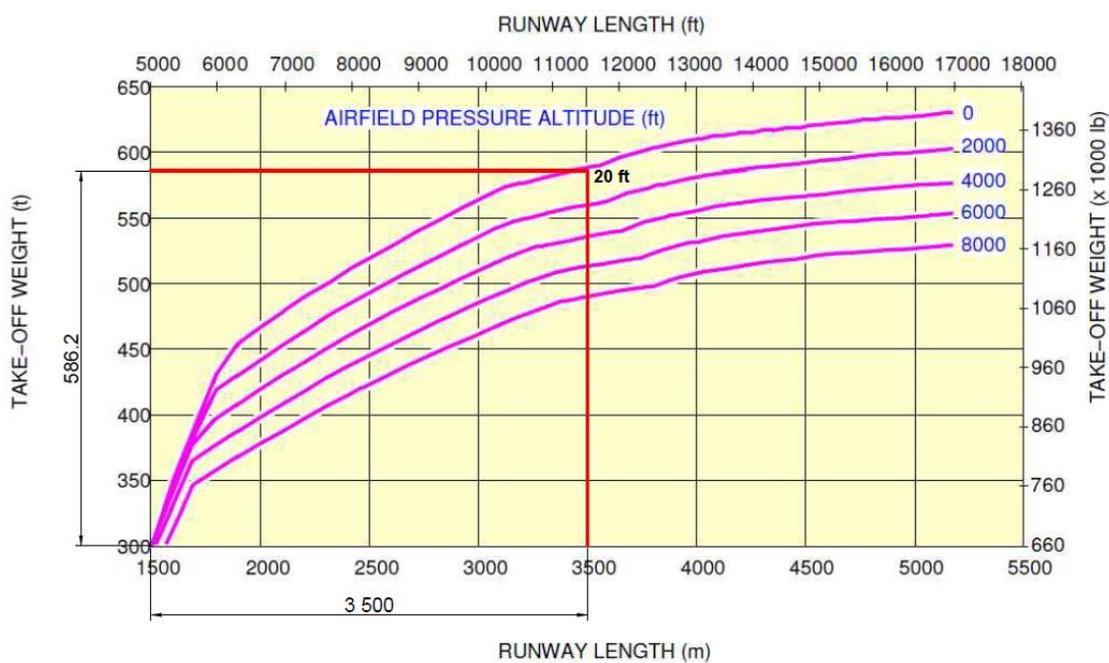


*Figura 122 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIC (pista 12R/30L), condiciones ISA +15 (30°C de referencia) con motores TRENT 900"*

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 587.3 toneladas (1 293 612 Lb).

## Pista 12R/30L

**TORA: 3 500 m**



*Figura 123 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIC (pista 12R/30L), condiciones ISA +15 (30°C de referencia) con motores GP 7200"*

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 586.2 toneladas (1 291 189 Lb).

## Corrección de altitud por temperatura de referencia del AIC

Altitud: 20 ft (6 m)

Temperatura de referencia: 31° C

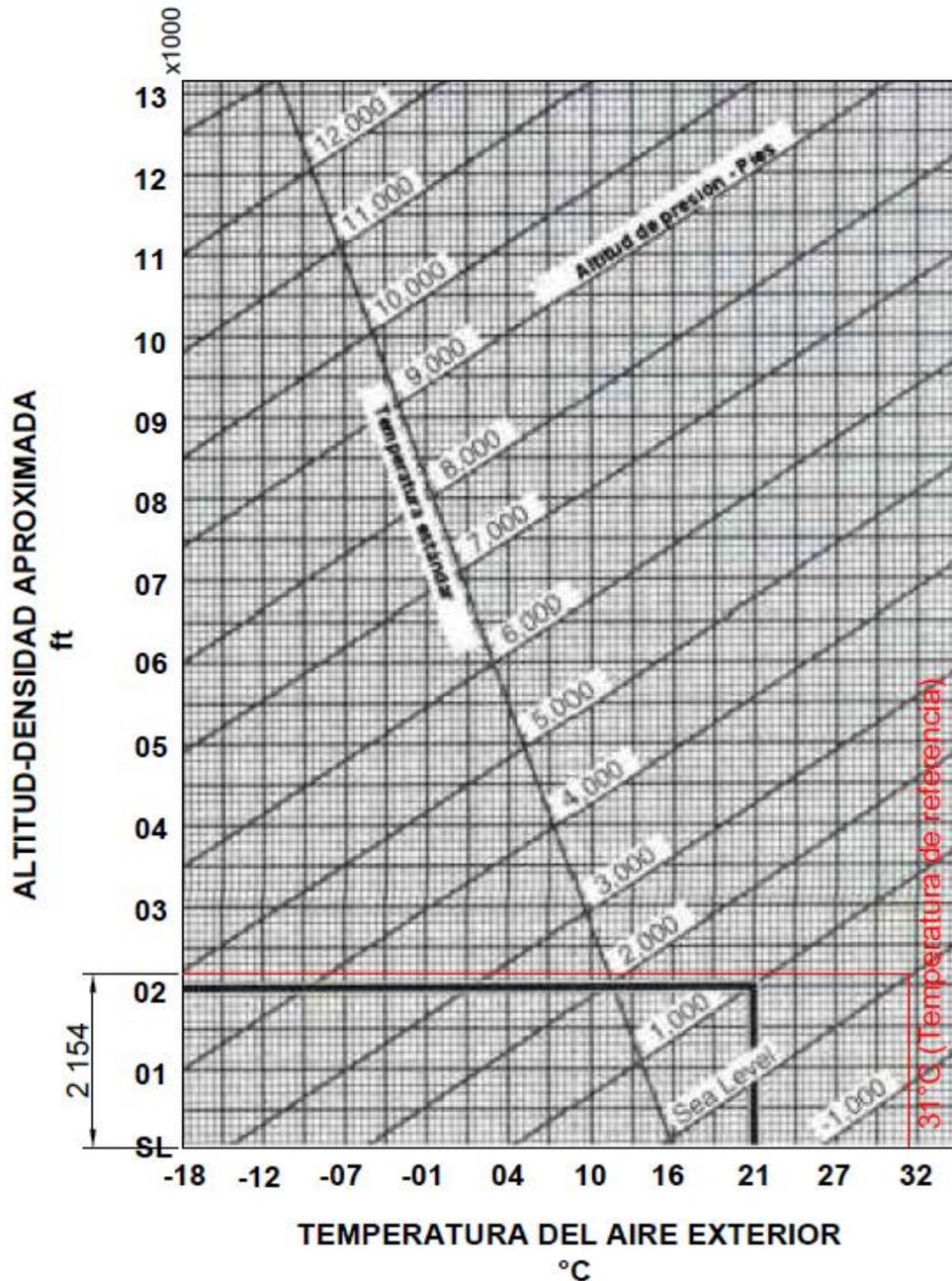


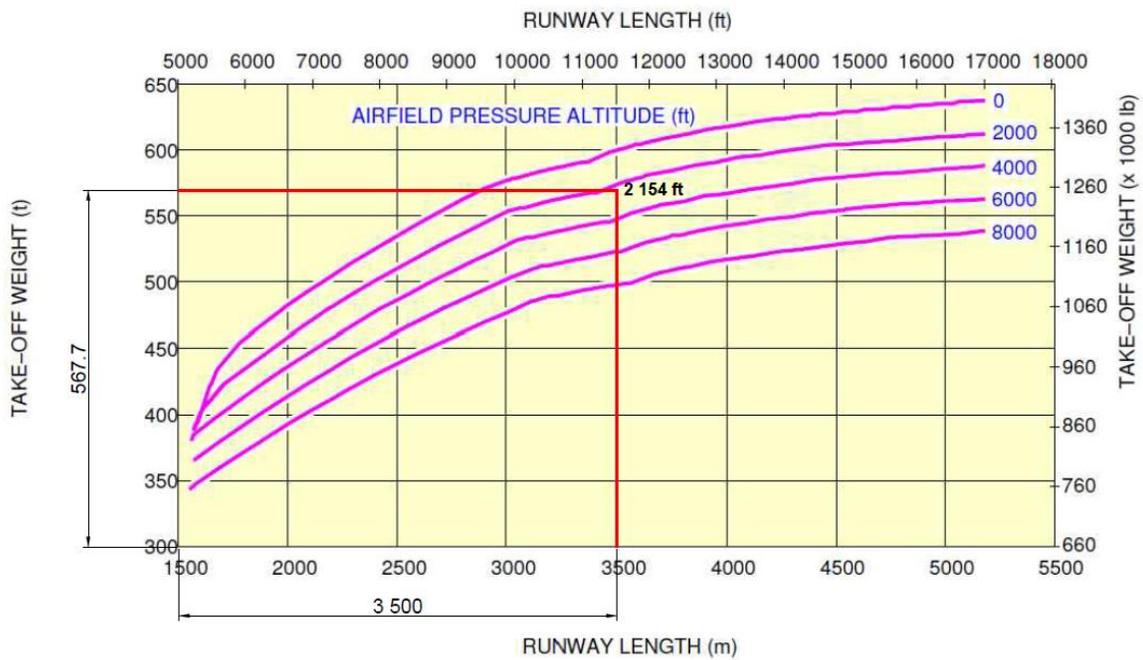
Figura 124 "Corrección de altitud por temperatura de referencia del AIC"

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene una altitud densidad de 2 154 ft (657 m).

## Pista 12R/30L

**TORA: 3 500 m**

Tomando en cuenta la corrección de altitud por temperatura de referencia (Altitud densidad de 2 154 ft = 657 m), se calcula el peso máximo de despegue con condiciones ISA estándar.



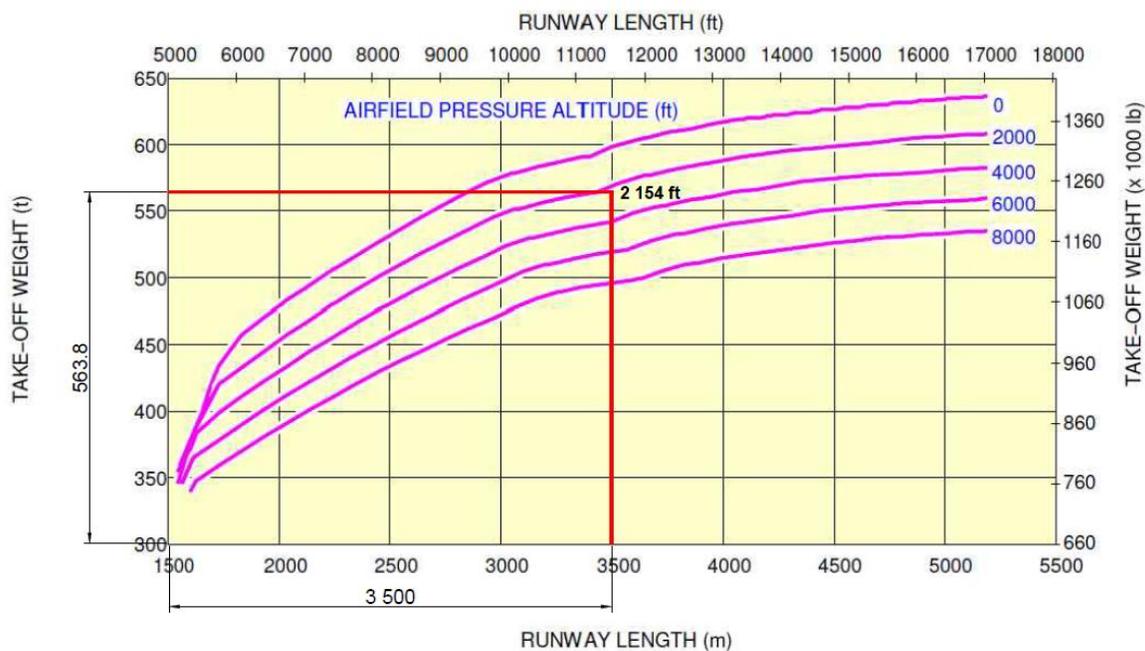
*Figura 125 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIC (pista 12R/30L), condiciones locales (31°C de referencia) con motores TRENT 900"*

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 567.7 toneladas (1 250 440 Lb).

## Pista 12R/30L

**TORA: 3 500 m**

**Altitud densidad: 2 154 ft (657 m)**



*Figura 126 "Limitación del peso máximo de despegue en el AIC (pista 12R/30L), condiciones locales (31°C de referencia) con motores GP 7200"*

Para las condiciones anteriormente descritas se tiene un peso máximo de despegue de 563.8 toneladas (1 241 850 Lb).